BRIAN GREENE

EVRENİN Dokusu

uzay, zaman ve
gerçekliğin dokusu

TÜBİTAK
POPÜLER BİLİM KİTAPLARI

1 – GERÇEKLİĞİN ALANI

I. Bölüm - Doğanın Armağanları

Babamın eski, tozlu kitaplığındaki hiçbir kitap yasak değildi. Ama gene de çocukluğumda hiç kimsenin oradan bir kitap aldığını görmedim. Çoğu kapsamlı bir uygarlık tarihi, batı edebiyatına ait cilt cilt büyük eserler ve şimdi hatırlayamadığım diğerleri- zamanla aşağıya doğru bel veren raflara kaynamış gibi görünen kalın ciltli, kocaman kitaplardı. Ama en üst rafta ara sıra gözümün takıldığı ince bir kitap vardı. Sanki devler ülkesindeki Gülüver gibi yerine yabancı dururdu. Şimdi düşününce o kitaba göz atmak için neden o kadar bekledim, bilmiyorum. Belki de yıllar içinde, kitaplar okunmak için yapılmış nesneler değil de, uzaktan bakılan aile yadigârı eşyalar gibi görünmeye başlamıştı. Sonunda o saygı yerini bir yeni yetme düşüncesizliğine bıraktı. Kitaba uzandım, tozlarını silkeledim ve birinci sayfayı açtım. İlk satırlar, en hafifinden ürkütücüydü.

"Gerçekten felsefi olan yalnızca bir sorun vardır, o da intihardır." diye başlıyordu metin, irkildim. "Dünyanın üç boyutu olup olmadığı veya zihinde dokuz kategori mi yoksa on iki kategori mi olduğu daha sonra gelir." diye sürüyordu. Metne göre böylesi sorular insanlığın oynadığı oyunun bir parçasıydı, ama ancak o tek gerçek konu yerli yerine oturtulduktan sonra üzerlerinde düşünülmeyi hak ediyorlardı. Kitap Sisyphos Söylen'di. Cezayir doğumlu, Nobel Edebiyat Ödülü nü kazanmış bir düşünür olan Albert Camus tarafından yazılmıştı. Bir an sonra bu buz gibi sözler kavrayışın sıcaklığı altında eridi. Tabii, öyle ya, diye düşündüm, isterseniz çıkmaz ayın son çarşambasına kadar şu konu üzerinde düşünüp bu konuyu analiz edebilirsiniz, ama asıl soru, düşüncelerinizin veya analizlerinizin sizi hayatın yaşanmaya değer olduğuna ikna edip edememesidir. Her şeyin gelip dayandığı nokta budur. Geri kalan her şey ayrıntıdır.

Camus'nün kitabıyla şans eseri karşılaşmam, kolayca etki altında kaldığım bir döneme rastlamış olmalı, çünkü onun bu sözleri okuduğum her şeyden daha çok aklımda kaldı. Zaman zaman, karşılaştığım, adlarını duyduğum, televizyonda gördüğüm çeşitli insanlar bu en temel soruyu nasıl cevaplardı diye düşünürdüm. Geriye baktığımda, aslında, kitaptaki bilimsel ilerlemeye ilişkin ikinci iddianın benim için özellikle önemli olduğunu fark

ediyorum. Camus, evrenin yapısının anlaşılmasının değerli olduğunu kabul ediyordu, ama anlayabildiğim kadarıyla, bu kavrayışın, hayatın yaşamaya değer olup olmadığı konusundaki değerlendirmemizi değiştirebileceği olasılığını reddediyordu. Tabii benim ilk gençliğimde varoluşçu felsefe okumam, Bart Simpson'ın romantik dönem şiirleri okuması gibiydi, ama yine de Camus'nün vardığı sonuç bana pek doğru gelmemişti. Tutkulu bir fizikçi adayı olarak bana göre, hayatı bilgiye dayanarak değerlendirebilmek için önce hayatın yaşandığı alanı, yani evreni tam olarak anlamak gerekirdi. Türümüz eğer yeraltındaki kayalara oyulmuş mağaralarda yaşasaydı ve daha yerkürenin yüzeyini, parlak güneş ışığını, okyanus rüzgârlarını ve uzaklardaki yıldızları keşfetmemiş olsaydı veya evrim farklı bir yol izlemiş olsaydı da dokunma duyumuz dışında hiçbir duyumuz gelişmemiş olsaydı, bildiğimiz her şey sadece çevremizdeki şeylere dokunarak öğrendiklerimizle sınırlı olsaydı veya zihinsel gelişimimiz çocukluğun ilk evrelerinde durmuş olsaydı da duygusal ve analitik yeteneklerimiz beş yaşındaki bir çocuğunki kadar olsaydı -kısaca deneyimlerimiz bize gerçekliğin çok eksik bir portresini sunsaydı- hayatı değerlendirme biçimimiz tamamen farklı olurdu, diye düşündüğümü hatırlıyorum. Sonunda yeryüzüne çıktığımızda veya görmeye, işitmeye, tat ve koku almaya başladığımızda veya zihnimiz normaldeki gibi geliştiğinde hayata ve evrene topluluk olarak bakışımız mecburen kökten değişirdi. Çünkü gerçekliğe ilişkin önceki sınırlı kavrayışımız, bütün felsefi soruların en temeline çok farklı bir ışık tutmuş olurdu.

Ama ne var yani, diye sorabilirsiniz. Tabii ki aklı başında her değerlendirme, evren hakkında her şeyi -maddenin nasıl davrandığını veya hayatın nasıl işlediğini- anlamasak bile, doğanın tuvalini süsleyen betimleyici, geniş fırça darbelerinin sırrına ortak olduğumuz sonucuna varacaktır. Tabii ki Camus'nün ima ettiği gibi, fizikteki gelişmeler, örneğin uzay boyutlarının sayısının anlaşılması veya nörofizyolojideki gelişmeler, örneğin beynin düzeninin ve yapısının anlaşılması hatta diğer bütün bilimsel alanlardaki gelişmeler önemli ayrıntıları ortaya çıkarabilir, ama bütün bunların hayatı ve gerçekliği değerlendirişimiz üzerindeki etkisi en alt düzeyde olacaktır. Tabii ki gerçeklik, biz neyin gerçeklik olduğunu düşünüyorsak odur; gerçeklik bize kendini deneyimlerimiz yoluyla gösterir.

Gerçekliğe bu bakış, birçoğumuz tarafından sorgulanmadan da olsa şu ya da bu ölçüde benimsenir. Benim kendimi günlük hayatta bu şekilde düşünürken bulduğum kesin; doğanın doğrudan duyularımıza gösterdiği yüzünün insanı kandırması kolaydır. Ama Camus'nün metniyle ilk karşılaşmamdan bu yana geçen yıllar içinde modern bilimin çok farklı bir öykü anlattığını öğrendim. Geçtiğimiz yüzyılda yapılan bilimsel araştırmalardan çıkan ana ders, insan deneyimlerinin, gerçekliğin gerçek doğasına ulaşma yolunda genelde yanıltıcı bir rehber olduğudur. Günlük hayatın yüzeyinin hemen altında hiç bilmediğimiz bir dünya var. Gizemli olaylara ve büyüye inananlar, astroloji düşkünleri, deneyimlerin ötesinde bir gerçeklikten bahseden dinsel ilkeleri benimseyenler, çok farklı perspektiflerden de olsa çoktan benzer bir sonuca ulaşmıştır. Ama benim aklımdaki bu değil. Ben, kozmik soğanı katman katman soyarak, her katmanda bir gizemi açığa çıkaran ve hem şaşırtıcı, tanıdık olmayan, heyecan verici, zarif ve hem de kimsenin beklediği gibi olmayan bir evreni ortaya çıkaran yaratıcı yenilikçilerin ve yorulmak bilmez araştırmacıların çalışmalarından söz ediyorum.

Bu ilerlemeler sadece birer ayrıntıdır. Fizikteki yeni buluşlar evreni kavrayışımızda köklü değişiklikler yapmamıza neden olmuştur ve olmaya da devam edecektir. Yıllar önce olduğu gibi şimdi de Camus'nün, nihai soru olarak hayatın değerini seçmekte haklı olduğunu düşünüyorum; ama modern fiziğin kazandırdıkları, beni, hayatı günlük deneyimlerin merceğinden bakarak değerlendirmenin, bir van Gogh tablosuna boş bir gazoz şişesinin dibinden bakmaktan farkı olmadığına ikna etti. Modern bilim, en temel algılarımız yoluyla elde ettiğimiz kanıtlara saldırı ardından saldırı gerçekleştirerek, bunların çoğunlukla yaşadığımız dünyaya ilişkin bulanık bir tahayyüle yol açtığını gösterdi. Bu nedenle Camus fizikle ilgili soruları ikincil olarak nitelediyse de, ben o soruların birincil olduğuna ikna oldum. Bana göre, fiziksel gerçeklik hem sahneyi belirliyor hem de Camus'nün sorusuyla baş etmek için gerekli ışıklandırmayı sağlıyor. Varoluşu modern fiziğin bize kazandırdıklarını benimsemeden değerlendirmeye çalışmak, karanlıkta bilinmeyen bir rakiple güreşmek gibi olurdu. Fiziksel gerçekliğin gerçek doğasını kavrayışımızı derinleştirerek, kendimize ilişkin algımızı ve evren hakkındaki deneyimlerimizi baştan düzenleyebiliriz.

Bu kitabın temel kaygısı, gerçekliği değerlendirişimizle ilgili bu yeniden düzenlemelerin en parlak ve en temel olanlarını açıklamaktır. Bunu yaparken, türümüzün uzayı ve zamanı anlama yolundaki uzun dönemli projelerini etkileyen düzenlemelere odaklanacağız. Aristoteles'ten Finstein'a, usturlaptan Hubble Uzay Teleskopu'na, piramitlerden dağ tepelerindeki gözlemevlerine kadar uzay ve zaman, düşünmenin başlangıcından bugüne düşüncenin çerçevesini çizmiştir. Modern bilim çağının başlamasıyla bu konuların önemi de artmıştır. Son üç yüzyıl boyunca fizikteki gelişmeler uzayın ve zamanın en şaşırtıcı ve en zorlayıcı, evreni bilimsel olarak çözümlememizdeki en etkili kavramlar olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bilimdeki böylesi gelişmeler uzayı ve zamanı, en son araştırmaların tamamen değiştirdiği yıllanmış bilimsel kurgular listesinin en tepesine yerleştirmiştir.

Isaac Newton a göre uzay ve zaman vardı, o kadar. Evrendeki olayların sahnelendiği hareketsiz, kozmik bir sahne oluşturuyorlardı. Onun çağdaşı ve rakibi olan Gottfried Wilhelm von Leibniz'e göre ise "uzay" ve "zaman", cisimlerin bulundukları yer ile olayların olduğu zaman arasındaki ilişkilere ait sözcüklerdi. Hepsi bu. Ama Albert Einstein'a göre uzay ve zaman, gerçekliğin altında yatan hammaddeydi. Einstein görelilik kuramlarıyla uzay ve zaman konusundaki düşüncelerimizi sarstı ve uzayın ve zamanın evrenin evriminde oynadığı temel rolü ortaya çıkardı. O günden bu yana, uzay ve zaman fiziğin parlayan mücevherleridir. Hem tanıdık hem de şaşırtıcıdırlar; onları tam olarak anlamak fiziğin en göz korkutan ama peşine de en çok düşülen konusu haline gelmiştir.

Bu kitapta ele alacağımız gelişmeler, uzay ve zamanın dokusunu çeşitli şekillerde örmektedir. Bazı fikirler, uzay ve zamanın bin yıldır olmasa da yüzlerce yıldır sorgulanamaz görünmüş en temel özelliklerini tartışmaya açacaktır. Bazıları uzay ve zamanı kuramsal olarak kavrayışımız ile genelde yaşadığımız deneyimler arasındaki bağlantıyı araştıracaktır. Bazılarıysa olağan algıların dar sınırları içinde akıl ermeyecek sorular ortaya atacaktır.

Felsefeden çok az söz edeceğiz (intihardan ve hayatın anlamından hiç söz etmeyeceğiz). Ama uzay ve zamanın sırlarını çözme yolundaki bilimsel arayışta kendimizi sınırlamayacağız. Uzay ve zamanın gerçek doğasını, evrenin küçük bir nokta olduğu ilk anlarından, ulaştığı en uzak noktaya ve en uzak geleceğine kadar, hem tanıdık hem de alışılmadık ortamlarda

azimle araştıracağız. Uzay ve zamanın öyküsü henüz tamamlanmamış olduğundan, bir sonuca ulaşmayacağız. Ama bize evrenin dokusunu kavramaya ve gerçekliğin gerçek yapısına ne kadar yaklaştığımızı gösterecek gelişmelere -kimisi çok tuhaf, kimisi çok tatminkâr, kimisi deneysel olarak kanıtlanmış, kimisi de tartışmaya açık- değineceğiz.

Klasik Gerçeklik

Tarihçiler tam olarak ne zaman başladığı konusunda fikir birliği içinde olmasa da, modern bilim çağının Galileo Galilei, René Descartes ve Isaac Newton düşüncelerini açıkladıkları sırada başlamış olduğu kesin. O günlerde gökbilimsel ve yeryüzüyle ilgili verilerde bulunan örüntüler, evrende olup biten her şeyin dikkatle akıl yürüterek ve matematiksel çözümleme yoluyla anlaşılabilecek bir düzeni olduğunu giderek daha açık hale getiriyor, yeni bilimsel düşünce biçimi iyice yerleşiyordu. Modern bilimsel düşüncenin bu ilk öncüleri, doğru biçimde bakıldığında evrendeki olayların yalnızca açıklanabilir olmakla kalmayıp aynı zamanda öngörülebilir olduğunu ileri sürüyorlardı. Bilimin geleceğin bazı yönlerini önceden bilme gücü -tutarlı ve niceliksel olarak- ortaya çıkıyordu.

İlk bilimsel çalışmalar, günlük hayatta görebileceğimiz ve yaşayabileceğimiz türden şeylere odaklanmıştı. Galileo eğri bir kuleden aşağı ağırlık atıyor (efsaneye göre) ve eğik bir düzlemden aşağıya yuvarladığı topları gözlüyordu; Newton elmaların düşüşünü (efsaneye göre) ve Ay'ın yörüngesini inceliyordu. Bu araştırmaların amacı, yeni yeni gelişmekte olan "bilimsel kulağı" doğanın armonilerine göre akort etmekti. Elbette ki deneyimin hammaddesi fiziksel gerçeklikti, ama mesele ritmin ve düzenin ardındaki mantığı ve anlamı "duyabilmekti." Adları duyulmuş ve duyulmamış pek çok kahraman bu hızlı ve etkileyici ilerlemeye katkıda bulunmuştu, ama Newton rol çaldı. Elindeki az sayıda denklemle, yerdeki ve gökteki hareketlerle ilgili bilinen her şeyi bir araya getirdi ve böylece sonradan klasik fizik denilen eserin fon müziğini bestelemiş oldu. Newton un çalışmasını izleyen yıllarda, onun kullandığı denklemler detaylı bir matematiksel yapıya dönüştürüldü, böylece hem kapsamları hem de uygulamadaki kullanımları çok genişledi. Klasik fizik yavaş yavaş olgun bir bilimsel disiplin haline geldi. Bütün bu gelişmelerin ortasında parlayan ışık, Newton'un özgün kavrayışlarıydı. Bugün, üç yüzyıldan daha uzun bir süre sonra hâlâ Newton'un denklemlerini, dünyanın her yerinde fiziğe giriş derslerinin verildiği sınıfların tahtalarında, uzay araçlarının yörüngelerinin

hesaplandığı NASA uçuş planlarında ve en ileri araştırmaların karmaşık hesaplarının içinde saklı olarak görebilirsiniz. Newton çok fazla sayıda fiziksel olguyu tek bir kuramsal çerçeve içinde birleştirmiştir.

Ama Newton hareket yasalarını formülleştirirken -bizim öykümüz için de özel bir önemi olan (2. Bölüm)- bir engele takıldı. Nesnelerin hareket edebildiğini herkes biliyordu, ama ya bu hareketin içinde yer aldığı alan? Hepimiz buna "uzay işte" diye yanıt veririz. Ama Newton'un yanıtı "Uzay nedir?" olurdu. Uzay gerçek bir fiziksel varlık mı, yoksa evreni anlamaya çabalayan insanın ortaya attığı soyut bir fikir mi? Newton bu kilit sorunun yanıtlanması gerektiğini biliyordu, çünkü uzay ve zamanın anlamı hakkında bir fikre sahip olmadan hareketi tanımlayan denklemleri anlamsız olacaktı. Bir şeyi anlamak için bağlamını bilmek gerekir; kavrayışın bir dayanağı olmalıdır.

Böylece Newton Principia'da bir iki kısa cümleyle açık ve net bir uzay ve zaman kavrayışı oluşturdu; uzayın ve zamanın evrenin değişmez alanını oluşturan, mutlak ve değişmez varlıklar olduğunu öne sürdü. Newton'a göre uzay ve zaman, evrene biçimini ve yapısını veren görünmez bir yapı iskelesi oluşturuyordu.

Herkes aynı fikirde değildi. Kimileri, son derece ikna edici bir biçimde, hissedemediğimiz, tutamadığımız ve etkileyemediğimiz bir şeye varlık atfetmenin anlamı olmadığını öne sürüyordu. Ama Newton denklemlerinin öngörme ve açıklama gücü eleştirileri durdurdu. Sonraki iki yüzyıl boyunca Newton'un mutlak uzay ve zaman kavrayışı artık sorgusuz kabul edilen bir ilkeydi.

Göreli Gerçeklik

Dünyaya klasik Newtoncu bakış iyiydi. Yalnızca doğal olayları şaşırtıcı bir kesinlikle betimlemekle kalmıyor, betimlemenin ayrıntıları da -yani matematik- deneyimlerle örtüşüyordu. Eğer bir şeyi iterseniz, hızlanır. Bir topu ne kadar hızlı fırlatırsanız, duvara çarptığı zaman etkisi o kadar büyük olur. Eğer bir şeye baskı uygularsanız, onun da size baskı uyguladığını hissedersiniz. Bir cismin kütlesi ne kadar büyük ise kütleçekimi de o kadar büyük olur. Bunlar doğal dünyanın en temel nitelikleri arasındadır. Newton un kurduğu yapıyı öğrendiğinizde bunların denklemlerde gün gibi açık bir biçimde temsil edildiklerini görürsünüz. Bir falcının kristal küresinin

sorgulanamaz gizeminden farklı olarak, Newton yasalarının işleyişi, en alt düzeyde matematik bilgisine sahip herkesin anlayabileceği şekilde ortadaydı. Klasik fizik insan sezgileri için sağlam bir temel oluşturuyordu.

Newton denklemleri kütleçekimi kuvvetini kapsıyordu, ama klasik fiziğin yapısı elektriksel ve manyetik kuvvetleri de kapsayacak biçimde ancak 1860'ta İskoç bilim insanı James Clerk Maxwell tarafından genişletildi. Bunu yapabilmek için Maxwell in yeni denklemlere ihtiyacı vardı. Kullandığı matematiği tam olarak anlamak için daha yüksek düzeyde bir eğitim almış olmak gerekiyordu. Ama Maxwell'in yeni denklemleri, elektriksel ve manyetik olguları, Newton denklemlerinin hareketi açıkladığı kadar başarılı bir şekilde açıklıyordu. 1800'lerin sonuna doğru artık insan aklının gücünün, evrenin gizlerini çözebileceği açıkça görülmeye başlamıştı.

Nitekim elektriğin ve manyetizmanın başarılı bir şekilde birleştirilmesiyle, kuramsal fiziğin yakın bir zamanda tamamlanacağı duygusu güçleniyordu. Kimileri fiziğin kısa bir zamanda artık tamamlanmış bir konu olacağını ve fizik yasalarının kesin bir biçimde ortaya konacağını düşünüyordu. Tanınmış deneysel fizikçi Albert Michelson 1894'te "En temel ilkelerden çoğunun kesin bir biçimde" belirlendiğini ifade etti ve "seçkin bir bilim insanının" -ki çoğu kimse bu kişinin İngiliz fizikçi Lord Kelvin olduğunu düşünür- artık geriye sadece bazı sayıların ondalık basamaklarını daha net olarak belirlemenin kaldığını söylediğinden söz etti. Kelvin'in kendisi de 1900'de ufukta "iki bulut" olduğunu, bunlardan birinin ışığın hareketinin özellikleri, değerininse cisimlerin ısıtılınca yaydığı ışınımın özellikleri olduğunu söyledi. Ama genel kanı, bunların da yakın bir zamanda kuşkusuz incelenip çözülecek ufak ayrıntılar olduğuydu.

On yıl içinde her şey değişti. Tahmin edildiği gibi, Kelvin'in ortaya attığı iki problem ele alındı, ama hiç de ufak problemler olmadıkları ortaya çıktı. Her biri bir devrim başlattı ve gene her biri doğa yasalarının yeni baştan yazılmasını gerektirdi. Klasik uzay, zaman ve gerçeklik kavramları -yüzlerce yıl boyunca yalnızca işlerliğini korumakla kalmayan, aynı zamanda dünyaya ilişkin sezgisel algılarımızı doğrulayan kavramlar- tamamen değişti.

Kelvin'in "bulutlarından" ilkini ele alan görelilik devrimi, 1905'ten Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramlarını (3. Bölüm) tamamladığı 1915'e kadar sürdü. Einstein elektrik, manyetizma ve ışığın hareketi

konularındaki bilmecelerle uğraşırken Newton'un klasik fizikteki en önemli kilometre taşlarından olan uzay ve zaman kavramlarının hatalı olduğunu fark etti. 1905 baharında çok yoğun geçen birkaç haftada uzay ve zamanın Newton'un düşündüğü gibi birbirinden bağımsız ve mutlak olmadığını, insanların ortak deneyimlerinin tam tersine göreli ve birbirinin içine girmiş olduğunu belirledi. On yıl kadar sonra kütleçekimi fiziğinin yasalarını yeniden yazan Einstein, Newton fiziğinin sonunu hazırlamış oldu. Einstein bu kez yalnızca uzay ve zamanın bir bütünün parçaları olduğunu göstermekle kalmamış, eğrilip yamularak evrenin evriminde rol aldıklarını da göstermişti. Einstein'ın bakış açısına göre, uzay ve zaman Newton'un düşündüğü gibi katı ve değişmez olmak şöyle dursun esnek ve dinamiktir.

Her iki görelilik kuramı da insanlığın en değerli kazanımları arasındadır; Einstein bu kuramlarla Newton'un gerçeklik kavrayışını alaşağı etmiştir. Her ne kadar Newton fiziği fiziksel deneyimlerimizin çoğunu matematiksel olarak kapsıyor gibi görünse de, Newton'un betimlediği gerçekliğin bizim dünyamızın gerçekliği olmadığı anlaşılmıştır. Bizimki, göreli bir gerçekliktir. Ama klasik fizik ve göreli fizik arasındaki fark yalnızca uç koşullarda (çok büyük hızlar ve kütleçekimi) kendini gösterdiği için, Newton fiziği ile pek çok koşul altında hâlâ çok kesin ve yararlı yaklaştırımlar yapılabilir. Ama yararlılık ve gerçeklik birbirinden çok farklı standartlardır. Göreceğimiz gibi, uzay ve zamanın bizim için neredeyse alışkanlık haline gelmiş özellikleri, hatalı bir Newtoncu bakış açısının parçaları haline gelmiştir.

Kuantum Gerçekliği

Lord Kelvin'in sözünü ettiği ikinci aykırılık, modern insan kavrayışının maruz kaldığı en büyük altüst oluşlardan biri olan kuantum devrimine yol açtı. Ateş sönmeye yüz tutup duman dağıldığında klasik fiziğin cilası dökülmüş, altından yeni kuantum gerçekliğinin çatısı ortaya çıkmıştı.

Klasik fiziğin temel özelliklerinden biri şudur: Eğer tüm nesnelerin belli bir andaki konumlarını ve doğrusal hızlarını biliyorsanız Newton ve Maxwell denklemlerini kullanarak bu nesnelerin geçmişte ya da gelecekte herhangi bir andaki konumlarım ve doğrusal hızlarını bulabilirsiniz. Başka bir deyişle klasik fizik, geçmişin ve geleceğin şimdinin içine kazınmış olduğunu söyler. Bu özellik özel ve genel görelilik kuramlarında da vardır. Her ne kadar görelilik kuramındaki geçmiş ve gelecek kavramları klasik

karşılıklarından daha zor anlaşılır ise de (3. ve 5. Bölüm) göreliliğin denklemleri, şimdiyi tam olarak değerlendirir ve geçmiş ve gelecek kavramlarını da bir o kadar eksiksiz belirler.

Bununla birlikte, 1930'lara gelindiğinde fizikçiler kuantum mekaniği adı verilen tümüyle yeni bir kavramsal şema önermek zorunda kaldılar. Beklenmedik bir biçimde, yalnızca kuantum mekaniğinin, atom ve atomaltı dünyasının sunduğu çeşitli yeni verileri açıklamayı ve bilmeceleri çözmeyi başarabildiğini gördüler. Ama kuantum yasalarına göre, nesnelerin şimdi nasıl olduklarıyla ilgili olarak mümkün olan en mükemmel ölçümleri bile yapsanız, bekleyebileceğinizin en iyisi, nesnelerin gelecekte belli bir zamanda şöyle ya da böyle olma olasılığı ya da geçmişte belli bir zamanda şöyle ya da böyle olmuş olma olasılığıdır. Kuantum mekaniğine göre, evren şimdinin içine kazınmamıştır; kuantum mekaniğine göre, evren şans oyunları oynar.

Her ne kadar bu gelişmelerin tam olarak nasıl yorumlanması gerektiği hâlâ tartışmalıysa da, fizikçilerin çoğu olasılık kavramının kuantum gerçekliğinin dokusunda olduğu konusunda fikir birliği içindedir. İnsan sezgisi ve onun klasik fizikte somutlaşan hali, şeylerin her zaman kesinlikle ya şöyle ya da böyle olduğu bir gerçeklik tahayyül ederken, kuantum mekaniği şeylerin bazen kısmen şöyle ve kısmen de böyle olmak arasında gidip geldiği bulanık bir gerçeklik betimler. Şeyler ancak uygun bir gözlem onları kuantum olasılıklarından vazgeçmeye zorladığında kesinleşir ve belirli bir değer alır. Ama gerçekleşen bu değer öngörülemez, ancak şeylerin şu veya bu değeri alma olasılığı öngörülebilir.

Bu, düpedüz gariptir. Algılanıncaya kadar belirsiz olan bir gerçekliğe alışık değiliz. Ama kuantum mekaniğinin gariplikleri burada bitmiyor. Einstein'ın 1935 yılında kendisinden daha genç iki bilim insanı Nathan Rosen ve Boris Podolsky ile birlikte kuantum kuramına bir saldırı olarak kaleme aldığı makalede sözü edilen bir özellik de bir o kadar şaşırtıcıdır. Daha sonra bilimsel ilerlemede ortaya çıkan beklenmedik değişikliklerle, şimdi Einstein'ın makalesine kuantum mekaniğinin -ilk bakışta- burada yaptığınız bir şeyin aynı anda orada olan bir şeyle, mesafeden bağımsız olarak, bağlantılı olduğunu öne sürdüğüne dikkat çeken makaleler arasında bir ilk gözüyle bakabiliriz. Einstein böyle aynı anda bağlantılı hale gelme düşüncesini gülünç buluyor ve kuantum kuramının matematiğinden bu sonuçların çıkmasını, kuramın kabul edilebilir hale gelmeden önce daha çok geliştirilmesi gerektiğinin bir kanıtı olarak görüyordu. Ama hem kuramsal

hem de teknolojik gelişmelerin kuantum kuramının bu saçma gibi görünen yönleriyle ilgili deneyler yapılmasına olanak verdiği 1980'lerde, araştırmacılar gerçekten de birbirinden çok uzak konumlarda olup biten şeyler arasında aynı anda bir bağlantı olabileceğini kanıtladılar. Einstein'ın saçma kabul ettiği şeyler laboratuvar koşullarında gerçekten de olur (4. Bölüm).

Kuantum mekaniğinin bu özelliklerinin gerçeklik tahayyülümüz üzerindeki etkisi, devamlı olarak araştırılan bir konudur. Benim de aralarında olduğum pek çok bilim insanı bunu uzayın anlamının ve özelliklerinin kuantum açısından kökten bir biçimde güncellenmesinin bir parçası olarak görüyor. Normalde uzamsal ayrıklık fiziksel olarak bağımsızlık anlamına gelir. Eğer bir futbol sahasının öbür ucunda olanları kontrol etmek isterseniz ya oraya gitmeniz ya da etkinizi oraya iletmek için en azından oraya birisini veya bir şeyi (yardımcı antrenör, konuşmayı ileten hava moleküllerinin titreşimleri, birinin dikkatini çekmek için bir ışık çakımı vb.) göndermeniz gerekir. Eğer bunu yapmazsanız -yani eğer uzamsal olarak yalıtılmış kalırsanız- aradaki uzay fiziksel bir bağlantının olmamasını sağlayacağı için, orada bir etkiniz olamaz. Kuantum mekaniği bu bakış açısına, en azından bazı koşullar altında uzayı aşma kapasitesi olduğunu göstererek meydan okuyor; uzun erimli kuantum bağlantıları uzamsal ayrıklık sorununu aşabilir. İki cisim uzayda birbirlerinden uzak olabilirler ama kuantum mekaniği göz önüne alındığında sanki bir tek gibidirler. Dahası, Einstein'ın bulduğu uzay ve zaman arasındaki sıkı bağlantı nedeniyle kuantum bağlantılarının zamansal uzantıları da vardır. Birazdan, kuantum mekaniğinin gerektirdiği şaşırtıcı uzam-zamansal iç bağlantıları araştıran, zekice hazırlanmış ve gerçekten olağanüstü bazı deneyleri tanıtacağız ve bunların çoğumuzun kabul ettiği klasik, sezgisel dünya görüşüne çok güçlü bir şekilde meydan okuduğunu göreceğiz.

Bu etkileyici kavrayışlara rağmen, geriye zamanın -ne göreliliğin ne de kuantum mekaniğinin bir açıklama getiremediği- çok temel bir özelliği kalıyor: Zaman geçmişten geleceğe yönlenmiş gibi görünüyor. Bu konuda ikna edici tek gelişme fiziğin kozmoloji adı verilen bir alanından gelmiştir.

Kozmolojik Gerçeklik

Evrenin gerçek doğasını görmemizi sağlamak her zaman fiziğin başlıca amaçlarından biri olmuştur. Yaşadığımız gerçekliğin, aslında gerçekliğin

küçük bir parçasından başka bir şey olmadığını öğrenmekten -geçen yüzyılda olduğu gibi- daha zihin açıcı bir deneyim olabileceğini düşlemek zordur. Ama fiziğin aynı derecede önemli diğer bir görevi de, yaşadığımız gerçekliğin öğelerini açıklamaktır. Fiziğin tarihine hızlı bir bakış atarsak, bu görev sanki yerine getirilmiş, sanki sıradan deneyimler fizikteki yirminci yüzyıl öncesi ilerlemeler tarafından ele alınmış gibi gelebilir. Bir dereceye kadar bu doğrudur. Ama gündelik deneyimler söz konusu olduğunda bile tam bir kavrayıştan çok uzağız, tam olarak açıklayamadığımız sıradan deneyimlerin özellikleri arasında, modern fiziğin henüz çözülmemiş en derin gizlerinden biri -Britanyalı büyük fizikçi Sir Arthur Eddington'un zamanın oku olarak adlandırdığı giz-yer alır.

Şeylerin zaman içinde geliştiği bir yön olduğunu hiç sorgulamadan kabul ederiz: Yumurta kırılır, mum erir, ama eski hallerine geri dönemezler; anılar geleceğe değil geçmişe aittir; insanlar yaşlanır, gençleşmez. Bu bakışımsızlıklar (asimetriler) yaşamımızı yönetir; zamanda ileri ve geri ayrımı, deneysel gerçekliğin hâkim öğesidir. Eğer zamanda ileri ve geri arasında, sağ ve sol, ön ve arka arasında gördüğümüz bakışım olsaydı, dünya tanınmaz olurdu. Yumurtalar kırıldıkları gibi yapışırlardı; geçmiş kadar geleceğe ait anılarımız da olurdu; insanlar yaşlandıkları gibi gençleşirdi. Böyle bir zaman-bakışımlı gerçekliğin bizim gerçekliğimiz olmadığı kesin. Ama acaba zamanın bu bakışımsızlığı nereden geliyor? Zamanın bütün özellikleri arasındaki bu en temel olanından sorumlu olan ne?

Fiziğin bilinen ve kabul edilen yasaları böyle bir bakışımsızlık göstermez (6. Bölüm): Zamandaki bütün yönler, yani ileri ve geri, fizik yasalarınca bir fark gözetmeksizin ele alınır. Dev bilmecenin başlangıç noktası işte budur. Temel fizik denklemlerindeki hiç bir şey, zamanda bir yöne kesinlikle diğer yönden farklı davranmaz ve bu da yaşadığımız her deneyimle taban tabana terstir.

Günlük yaşamın bildik bir özelliğine odaklanmış da olsak, temel fizik ile en basit deneyimler arasındaki bu uyumsuzluğa en ikna edici çözümün, bizim için en bilinmedik olan olay üzerinde -evrenin başlangıcı- düşünmemizi gerektirmesi şaşırtıcıdır. Bu kavrayışın kökleri büyük on dokuzuncu yüzyıl fizikçisi Ludwig Boltzmann'ın eserlerindedir; daha sonra da pek çok araştırmacı, en önemlilerinden biri Britanyalı matematikçi Roger Penrose olmak üzere, bu konu üzerinde çalışmıştır. Göreceğimiz gibi, evrenin başlangıcındaki özel fiziksel koşullar (Büyük Patlama ve

sonrasındaki çok düzenli çevre) zamana bir yön vermiş olabilir. Tıpkı bir saati kurmanın, yani saatin zembereğini çok düzenli bir ilk duruma getirmenin saatin ileri doğru çalışmasını sağlaması gibi. İleride daha net olarak açıklayacağımız bir anlamda, yumurtanın kırılması -tekrar birleşmesinin aksine- evrenin 14 milyar yıl önce doğumundaki koşullara tanıklık etmektedir.

Günlük deneyimler ile evrenin ilk anları arasındaki bu beklenmedik bağlantı, olayların neden zamanda bir yönde olduğuna -ve asla diğer yönde olmadığına- dair bir kavrayış getiriyor, ama zamanın okunun gizemini tamamen çözemiyor. Tersine, bilmeceyi kozmolojinin -tüm evrenin kökenini ve evrimini araştıran bilim dalı- alanına kaydırıyor ve bizi evrenin, zamanın okunun bu açıklamasının gerektirdiği gibi, başlangıçta gerçekten de çok düzenli olup olmadığını araştırmaya zorluyor.

Kozmoloji insan türünü cezbeden en eski konular arasındadır. Bunda şaşacak bir şey yok. Bizler öykü anlatıcılarıyız; hangi öykü yaratılış öyküsünden daha görkemli olabilir? Geçtiğimiz birkaç bin yıl boyunca dinsel ve felsefi gelenekler, her şeyin -evrenin- nasıl başladığına ilişkin çok sayıda açıklamayla varlıklarını hissettirdiler. Bilim de uzun süren tarihi boyunca kozmolojiyle ilgilendi. Ama modern bilimsel kozmolojinin doğuşunu başlatan olay Einstein'ın genel göreliliği keşfetmesidir.

Einstein genel görelilik kuramını yayımladıktan kısa bir süre sonra hem Einstein hem de başka araştırmacılar, göreliliği bir bütün olarak evrene uyguladılar. On beş yirmi yıl içinde bu araştırmalar, gökbilimsel gözlemlerin birçok özelliğini başarıyla açıklayan bir yaklaşım olan, bugün Büyük Patlama kuramı dediğimiz kuramın, daha tam geliştirilmemiş olsa da çatısının ortaya çıkmasına yol açtı (8. Bölüm). 1960'larm ortasında, gözlemler kuramın öngördüğü, uzayı kaplayan, neredeyse tekbiçimli -gözle görülmeyen ama mikrodalga detektörleriyle kolayca ölçülebilen- mikrodalga ışınımının varlığını ortaya çıkardığında, Büyük Patlama kozmolojisini destekleyen kanıtlar daha da arttı. 1970'lere gelindiğinde ise evrendeki temel bileşenlerin ısı ve sıcaklıktaki uç değişimlere nasıl tepki verdiğinin belirlenmesi konusunda on yıl süren araştırmalardan ve bunların sonucunda yaşanan önemli gelişmelerden sonra artık Büyük Patlama kura-mı, önde gelen kozmoloji kuramı olarak yerini sağlamlaştırmıştı (9. Bölüm).

Başarılarına karşın kuramın önemli eksikleri vardı. Uzayın neden ayrıntılı gökbilimsel gözlemlerin ortaya çıkardığı şekilde olduğunu açıklayamıyordu. Keşfedildiği andan itibaren dikkatle incelenmekte olan mikrodalga ışınımının sıcaklığının neden her noktada aynı göründüğü konusuna bir açıklama getiremiyordu. Üstelik -anlatmakta olduğumuz öykü açısından asıl önemli olan da bu- Büyük Patlama kuramı, evrenin başlangıçta, zamanın oku açıklamasının gerektirdiği gibi, çok düzenli olması gerektiğine dair ikna edici bir sebep gösteremiyordu.

Bu ve bir sonuca bağlanamayan başka konular, 1970'lerin sonunda ve 1980'lerin başında şişme kozmolojisi adı verilen önemli bir atılıma esin kaynağı oldu (10. Bölüm). Şişme kozmolojisi Büyük Patlama kuramına, evrenin ilk anlarında çok kısa ve çok hızlı bir şişme dönemi ekleyerek kuramı değiştiriyordu (bu yaklaşımda, saniyenin trilyonda birinin trilyon birinin milyonda birinden daha kısa bir sürede evrenin büyüklüğü milyon kere trilyon kere trilyon kat artmıştır). İleride anlaşılacağı gibi, genç evrenin bu olağanüstü büyümesi, Büyük Patlama modelinin bıraktığı boşlukları doldurmakta -uzayın biçiminin neden böyle olduğunu, mikrodalga ışınımının neden tekbiçimli olduğunu ve evrenin ilk dönemlerinin neden o kadar düzenli olmuş olması gerektiğini açıklamakta- başarılıdır. Böylece hem gökbilimsel gözlemlerin işaret ettiği hem de herkesin kendi deneyimleri sonucu bildiği zamanın okunun açıklanmasında önemli bir ilerleme sağlamıştır (11. Bölüm).

Bu önemli başarılara karşın, şişme kozmolojisi yirmi yıl rahatsız edici bir sır sakladı. Değiştirdiği standart Büyük Patlama kuramı gibi şişme kozmolojisi de Einstein'ın genel görelilik kuramı ile keşfettiği denklemlere dayanıyor. Her ne kadar ciltler dolusu araştırma makalesi, Einstein'ın denklemlerinin boyutları ve kütleleri büyük cisimleri kesin bir biçimde tanımlamakta çok başarılı olduğunu onaylasa da, fizikçiler küçük cisimlerin -örneğin henüz bir saniyenin çok küçük bir kesiri yaşındaki haliyle evrenin- kuramsal olarak çözümlenmesi için kuantum mekaniğinin kullanılması gerektiğini çoktandır biliyorlardı. Sorun, genel görelilik denklemleri kuantum mekaniğinin denklemleriyle bir araya geldiğinde ortaya bir felaket çıkmasındadır. Denklemler tümüyle çöker, bu da evrenin nasıl doğduğunu ve o sırada zamanın okunu açıklamak için gerekli koşulların oluşup oluşmadığını belirlememizi engeller.

Bu durumu bir kuramcının karabasanı olarak tanımlamak abartma sayılmaz: Deneysel olarak erişilemeyen çok önemli bir alanı çözümlemek

için gerekli matematiksel araçların olmaması. Uzay ve zaman bu özel ve erişilemeyen alanla -evrenin başlangıcıyla- öylesine iç içedir ki, uzay ve zamanı bütünüyle kavramamız için evrenin ilk dakikalarındaki uç koşullan -devasa bir yoğunluk, enerji ve sıcaklık gibi- açıklayabilecek denklemleri bulmamız gerekir. Bu, mutlaka ulaşılması gereken temel amaçtır; birçok fizikçi bu amaca ulaşabilmek için birleşik kuram denilen bir kuramın geliştirilmesinin gerekli olduğunu düşünüyor.

Birleşik Gerçeklik

Geçtiğimiz birkaç yüzyıl boyunca fizikçiler, birbirinden çok farklı ve görünüşe göre bağlantısız birçok olayın aslında aynı fizik yasalarıyla yönetildiğini göstererek doğal dünyayı kavrayışımızı pekiştirmeye çalıştı. Einstein için bu birleştirme amacı -en çok sayıda olguyu en az sayıda fiziksel ilke ile açıklamak- yaşam boyu süren bir tutkuya dönüşmüştür. Einstein iki görelilik kuramıyla uzayı, zamanı ve kütleçekimini birleştirmişti. Ama bu başarı onu yalnızca daha da büyük düşünmesi için cesaretlendirdi. Doğanın tüm yasalarını kucaklayan, her şeyi kapsayan tek bir çerçeve bulmayı düşledi; bu çerçeveyi birleşik kuram olarak adlandırdı. Zaman zaman Einstein'ın bir birleşik kuram bulduğu söylentileri yayıldıysa da bu tür iddiaların temelsiz olduğu ortaya çıktı; Einstein'ın düşü gerçekleşmedi.

Yaşamının son otuz yılında birleşik kurama odaklanması Einstein'ı dönemin yaygın fizik araştırmalarından uzaklaştırdı. Daha genç birçok bilim insanı, en büyük kuramı bulmak için yürüttüğü ve tek bir amacı olan arayışını, sonradan yanlış yola girmiş büyük bir adamın sayıklamaları olarak değerlendirdi. Ama Einstein'ın ölümünden sonraki yıllarda giderek artan sayıda fizikçi onun bitmemiş araştırmasını ele aldı. Günümüzde birleşik bir kuram geliştirilmesi, kuramsal fiziğin en önemli problemleri arasında sayılıyor.

Fizikçiler yıllarca birleşik bir kuram ortaya çıkarmanın önündeki temel engel olarak yirminci yüzyıl fiziğinin en önemli iki atılımı olan genel görelilik ve kuantum mekaniği arasındaki çatışmayı gördüler. Her ne kadar bu iki yapı çok farklı alanlara uygulanmakta ise de -genel görelilik yıldızlar ve galaksiler gibi büyük şeylere, kuantum mekaniği ise moleküller ve atomlar gibi küçük şeylere- iki kuram da evrensel oldukları, yani bütün

alanlara uygulanabilir oldukları iddiasındadır. Bununla birlikte yukarıda söz edildiği gibi, bu iki kuram bir arada kullanıldığında denklemler bir anlamı olmayan sonuçlar verir. Örneğin, kütleçekimi ile ilgili herhangi bir sürecin gerçekleşmesi olasılığının hesaplanmasında kuantum mekaniği genel görelilikle birlikte kullanıldığında bulunan yanıt yüzde 24 veya yüzde 63 veya yüzde 91 gibi bir sayı olmaz; tersine, kullanılan birleşik matematiğin verdiği sonuç sonsuz olur. Ama bu, çıkan değer o kadar yüksek ki bütün paranızı buraya yatırın, demek değildir. Yüzde 100'den büyük olasılık değerlerinin bir anlamı yoktur. Sonsuz olasılık sonucu veren hesaplamalar, genel göreliliğin ve kuantum mekaniğinin denklemlerinin bir arada kullanılmasının her şeyi karman çorman bir hale getirdiğini gösteriyor sadece.

Bilim insanları genel görelilik ile kuantum mekaniği arasındaki gerilimin elli yıldan fazladır farkında, ama uzunca bir süre pek azı bu gerilime bir çözüm aradı. Çoğu araştırmacı, genel göreliliği yalnızca büyük ve kütleli cisimleri, kuantum mekaniğini de küçük ve hafif cisimleri incelerken kullandı. Bunu yaparken de iki kuramı, aralarındaki uyuşmazlığı kontrol edebilecekleri kadar, birbirinden uzak tutmayı ihmal etmediler. Bu yumuşama taktiği yıllar boyunca her iki alanı kavrayışımızda çarpıcı ilerlemeler ortaya çıkardıysa da kalıcı bir barış sağlanamadı.

Çok az alan -uçlardaki fiziksel koşullar, örneğin kendileri çok küçük kütleleri büyük cisimler- aynı anda hem genel göreliliğin hem de kuantum mekaniğinin kullanılmasını gerektirerek askerden arındırılmış bölgeye doğrudan girer. En bilinen iki örnek, bütün bir yıldızın kendi ağırlığı altında ezilip çökerek çok küçük bir noktaya sıkıştığı bir kara deliğin merkezi ve bütün gözlenebilir evrenin bir atomdan çok daha küçük bir topak büyüklüğünde ve sıkışmış olduğunun düşünüldüğü Büyük Patlama'dır. Genel görelilikle kuantum mekaniği arasında başarılı bir birlik oluşturulamazsa, çöken yıldızların sonu ve evrenin başlangıcı sonsuza kadar bir giz olarak kalacaktı. Birçok bilim insanı bu alanları bir kenara koymayı tercih etti ya da en azından daha kolay başka problemler çözülünceye kadar bunların üzerinde düşünmeyi erteledi.

Ama bazı araştırmacılar bekleyemedi. Fiziğin bilinen yasaları arasında bir çatışma olması demek, derin bir gerçekliği kavrayamamak demekti ve bu bilim insanlarını rahatsız etmeye yeterliydi. Bu alana el atanlar suların derin, akıntıların güçlü olduğunu gördü. Uzun bir süre boyunca araştırmalarda çok az ilerleme kaydedildi, her şey iç karartıcıydı. Böyle

iken bile, yollarına devam edip genel görelilikle kuantum mekaniğini birleştirmek rüyasını gerçekleştirmek kararlığına sahip olanların azmi ve çabaları ödüllendiriliyor. Bugün bilim insanları, bu öncüler tarafından açılan yollarda ilerliyor, büyük şeylerin yasalarıyla küçük şeylerin yasaları arasında uyumlu bir birliktelik oluşturmaya çalışıyorlar. Pek çok kimsenin bu işi başaracağı konusunda hemfikir olduğu bir aday var: Süpersicim kuramı. (12. Bölüm).

Göreceğimiz gibi, süpersicim kuramı, işe eski bir soruya yeni bir yanıt önererek başlar: Maddenin bölünemeyen, en küçük parçaları nelerdir? Yıllar boyunca klasik yanıt, maddenin nokta olarak modellenebilecek, büyüklüğü ve içyapıları olmayan, bölünemeyen parçacıklardan -elektron ve kuarklar- oluştuğu idi. Geleneksel kuram, bu parçacıkların çeşitli şekillerde birleşerek protonları, nötronları ve gördüğümüz her şeyi oluşturan çok çeşitli atomları ve molekülleri oluşturduğunu öne sürer ve deneyler de bunu doğrular. Süpersicim kuramı ise bambaşka bir öykü anlatır. Elektronların, kuarkların ve deneylerde ortaya çıkan diğer parçacık türlerinin oynadığı kilit rolü inkâr etmez, ama bu parçacıkların nokta olmadığını öne sürer. Süpersicim kuramına göre her parçacık, tek bir atom çekirdeğinden yüz milyar kere milyar kez daha küçük (günümüzde inceleyemediğimiz kazar küçük) bir sicime benzeyen minik bir enerji iplikçiğinden oluşmuştur. Nasıl bir keman teli farklı örüntülerle titreşir ve her farklı titreşim farklı bir nota üretirse, süpersicim kuramındaki iplikçikler de farklı örüntülerle titreşebilir. Ama bu titreşimler nota üretmez, kuramın öne sürdüğüne göre farklı parçacıkların farklı özelliklerini üretir. Belli bir örüntüyle titreşen minik bir sicim bir elektronun kütlesine ve elektrik yüküne sahip olacaktır; yani kurama göre, böyle titreşen bir sicim, geleneksel olarak elektron dediğimiz şeydir. Farklı bir örüntüyle titreşen minik bir sicim ise kuark, nötrino veya herhangi bir başka parçacığı tanımlayan özelliklere sahip olacaktır. Her biri aynı varlığın değişik örüntülerle titreşmesinden ortaya çıktığından, tüm parçacık türleri süpersicim kuramında birleşir.

Noktalardan, çok çok küçük oldukları için nokta gibi görünen sicimlere geçiş, bakış açısında olağanüstü büyük bir değişiklik gibi görünmeyebilir. Ama öyledir. Böylesine mütevazı bir başlangıçtan yola çıkan süpersicim kuramı, önceki birleştirme girişimlerinin başına bela olan sonsuz sayıda olasılık tehlikesini savuşturarak, genel göreliliği ve kuantum mekaniğini

tutarlı, tek bir kuramda birleştirmiştir. Bu da yetmezmiş gibi, süpersicim kuramı doğadaki tüm kuvvetlerin ve tüm maddenin aynı kuramsal çerçevede birleştirilmesi için gerekli olan görüş açılımını ortaya çıkarmıştır. Kısacası, süpersicim kuramı Einstein'ın birleşik kuramı için en önemli adaydır.

Bunlar büyük iddialardır ve eğer doğru iseler, ileri doğru dev birer adımdırlar. Ama süpersicim kuramının en çarpıcı ve eğer yaşıyor olsaydı Einstein'ın da kalbini küt küt attıracağına hiç kuşku duymadığım özelliği, evrenin dokusunu kavrayışımıza yaptığı büyük etkidir, ileride göreceğimiz gibi, süpersicim kuramının genel göreliliği ve kuantum mekaniğini birleştirme iddiası, ancak uzay-zaman kavrayışımızı bir kere daha altüst edersek matematiksel olarak anlamlıdır. Süpersicim kuramı, ortak deneyimlerin gösterdiği gibi üç uzam boyutu ve bir zaman boyutu yerine dokuz uzam boyutu ve bir zaman boyutu gerektirir. Süpersicim kuramının M-kuramı olarak bilinen sağlam ve güçlü bir türevinde, birleştirme on uzam boyutu ve bir zaman boyutu gerektirir, yani kozmik altyapı toplam on bir uzay-zaman boyutuna sahiptir. Bu fazladan boyutları görmediğimiz için, süpersicim kuramı bize şimdiye kadar gerçeğin ancak çok küçük bir parçasını şöyle bir gördüğümüzü söyler.

Tabii fazladan boyutların varlığını kanıtlayan gözlenebilir verilerin olmayışı, bu boyutların olmadığı ve süpersicim kuramının yanlış olduğu anlamına da geliyor olabilir. Ama hemen bu sonuca varmak acelecilik olur. Süpersicim kuramının keşfinden on yıllarca önce bile, Einstein'ın da aralarında olduğu ileri görüşlü bilim insanları, gördüklerimizin ötesinde uzamsal boyutlar olabileceği fikri üzerinde uzun uzadıya düşünmüş ve bu boyutların nerede gizli olabileceği konusunda fikir yürütmüştür. Sicim kuramcıları bu fikirleri çok geliştirmiş ve bu fazladan boyutların, çok sıkışık oldukları için gözümüzle ve şu an elimizde olan araçlarla göremeyeceğimiz kadar küçük olabileceklerini (12. Bölüm) ya da büyük olabileceklerini ama evreni incelediğimiz yöntemlerle görülemiyor olabileceklerini (13. Bölüm) buldular. Her iki senaryonun da çok önemli sonuçları vardır. Sıkışmış boyutların geometrik şekilleri, sicim titreşimlerinin üzerindeki etkileri aracılığıyla çok temel soruların, örneğin evrenimizde neden yıldızlar ve gezegenler olduğu sorusunun yanıtlarını barındırıyor olabilir. Büyük fazladan boyutların getirdiği olanak ise daha da olağanüstü bir şeyi dikkate almamızı sağlayabilir: Şimdiye kadar tümüyle habersiz olduğumuz -bildiğimiz uzayda değil de, fazladan boyutlarda yakınımızda olan-dünyalar.

Bu her ne kadar fazla cesur bir iddia ise de, fazladan boyutlar gerçekleşmesi olanaksız, kuramsal bir düş değildir. Çok yakında varlıkları deneylerle sınanır hale gelebilir. Fazladan boyutlar, eğer var iseler, gelecek kuşak atom çarpıştırıcıları ile ilk insan yapısı mikroskobik kara deliğin oluşturulması ve yeni, şimdiye kadar keşfedilmemiş çok sayıda yeni parçacık türünün üretilmesi gibi dikkate değer sonuçlara yol açabilir (13. Bölüm). Bunlar ve başka alışılmamış sonuçlar, doğrudan görülebilenlerin ötesindeki boyutlar konusunda ilk kanıtları ortaya koyabilir ve bizi süpersicim kuramının uzun zamandır aranan birleşik kuram olduğu sonucuna bir adım daha yaklaştırabilirler.

Eğer süpersicim kuramının doğruluğu kanıtlanırsa, bildiğimiz gerçekliğin, kalın ve zengin dokulu kozmik kumaşın üzerine sarılmış ince bir tül olduğunu kabullenmek zorunda kalacağız. Camus'nün söylediklerine rağmen, uzay boyutlarının sayısını belirlemek -özellikle de yalnızca üç tane olmadığını bulmak bilimsel olarak ilginç ama sonuç olarak önemsiz bir ayrıntı olacaktır. Fazladan boyutların keşli, bir bütün olarak insan deneyimlerinin bizi evrenin temel bir niteliğinden tamamen habersiz bıraktığını gösterecektir. Evrenin insan duyuları tarafından kolayca algılandığını düşündüğümüz özelliklerinin bile öyle olmayabileceğini gösterecektir.

Geçmiş ve Gelecek Gerçekliği

Süpersicim kuramının geliştirilmesiyle birlikte, araştırmacılar nihayet ne kadar aşırı olursa olsun hiçbir koşulda çökmeyecek bir çerçevemiz olduğu, günün birinde denklemlerimizi kullanarak geriye doğru bakabileceğimiz ve bildiğimiz evrenin tam oluştuğu anda her şeyin nasıl olduğunu öğrenebileceğimiz konusunda iyimserler. Bu güne kadar hiç kimse süpersicim kuramını tartışmasız bir açıklıkla Büyük Patlamaya uygulayacak mahareti gösterememiştir, ama kozmolojiyi süpersicim kuramı çerçevesinde kavramak günümüz araştırmalarının en öncelikli konularından biri olmuştur. Tüm dünyada yürütülen süpersicim kozmolojisi ile ilgili yoğun araştırma programlan, geçtiğimiz birkaç yıl içinde yeni kozmolojik çerçeveler ortaya çıkarmış (13. Bölüm), süpersicim kuramının astrofizik gözlemler aracılığıyla sınanabilmesi için yeni yollar önermiş (14. Bölüm) ve kuramın zamanın okunu açıklamakta üstlenebileceği rol konusunda ilk kavrayışları sağlamıştır.

Zamanın oku, günlük yaşamda oynadığı belirleyici rolle ve evrenin başlangıcıyla yakından ilişkili olması nedeniyle, yaşadığımız gerçeklik ile en son bilimsel araştırmaların ortaya çıkarmaya çalıştığı daha rafine gerçeklik arasında tekil bir eşikte bulunuyor. Bu haliyle zamanın oku, ileride sözünü edeceğimiz gelişmelerden birçoğunu birleştiriyor. Bu konu, bundan sonraki bölümlerde de kendini gösterecek. Çok uygun, çünkü yaşamımızı biçimlendiren etkenlerin en baskın olanlarından biri zaman. Süpersicim kuramını ve onun uzantısı olan M-kuramını anladıkça kozmolojik kavrayışımız derinleşecek, bu da zamanın kaynağı ve oku konularına bakışımızı giderek netleştirecektir. Hayal gücümüzü serbest bırakırsak, kavrayışımızın günün birinde uzay-zaman içinde yolculuk yapmamıza ve böylece de şimdiye kadar erişemediğimiz alanları incelememize olanak sağlayacak kadar genişleyeceğini bile tasavvur edebiliriz (15. Bölüm).

Böylesi bir güce erişebilmek tabii ki çok büyük ölçüde olanak dışı. Ama uzayı ve zamanı kontrol etme gücünü hiç kazanamasak bile, derin bir kavrayış kazanmak da bize bir güç verir. Uzayın ve zamanın gerçek doğasını anlamak, insan aklının sınırlarını belirler. Sonunda insan deneyiminin en dış sınırlarını gösteren sessiz birer işaret olan uzayı ve zamanı anlayabiliriz.

Uzay ve Zaman Çağının Gelişi

Yıllar önce Sisyphos Söyleni’nin son sayfasını çevirdiğimde, metnin genelindeki iyimserlik havası karşısında şaşırmıştım. Ne de olsa, tekrar aşağıya yuvarlanacağını ve her şeye baştan başlayacağını bile bile bir kayayı tepeye kadar iterek çıkarmakla cezalandırılmış bir adamın öyküsünün mutlu sonla bitmesi beklenmez. Ama Camus, Sisyphos un özgür iradesini kullanıp üstesinden gelinemeyecek engellere karşı durarak, o umursamaz evrende saçma bir işle cezalandırmış olsa bile yaşamı sürdürmeyi seçmiş olmasında umut verici bir şeyler bulmuştur. Camus, Sisyphos'un dolaysız deneyimlerin ötesindeki her şeyden vazgeçerek ve daha derin bir kavrayış, daha derin bir anlam aramayı bırakarak zafere ulaştığını öne sürer.

Çoğu kimsenin ancak umutsuzluk göreceği yerde Camus'nün umudu yakalama yeteneği bana çok çarpıcı gelmişti. Ama yirmi yaşının altında bir gençken de aradan geçen yıllarda da Camus'nün evreni daha derinden kavramanın yaşamı daha zengin ve değerli kılmayacağı görüşünü bir türlü tam olarak kabul edemedim. Sisyphos Camus'nün kahramanıydı; bilim insanlarının en büyüklerinden Newton, Einstein, Niels Bohr ve Richard Feynman da benim kahramanlarım oldu. Feynman'ın bir gülü betimleyişini okuduğumda ona iyice hayran oldum. Feynman, nasıl herkes gibi gülün kokusunu aldığını, güzelliğini gördüğünü ama fizik bilgisi sayesinde o güzelliğin altındaki moleküler, atom ve atomaltı düzeydeki mucizevi görkemi de kavrayabildiği için yaşadığı deneyimin ne kadar zenginleştiğini anlatıyordu. Ben de Feynman'ın anlattığı şeyi istiyordum: Yaşama değer vermek ve evreni yalnızca duyularımızla algılayabildiğimiz kadarıyla değil de olası bütün düzeylerde kavramak. Evreni olabilecek en derin kavrayışa ulaşıncaya kadar araştırmak yaşamımın amacı haline geldi.

Bugün profesyonel bir fizikçi olarak, lisede fiziğe delice tutulmamda naif bir şeyler olduğunun uzunca bir süredir farkındaydım. Fizikçiler genellikle çalışma günlerinde vakitlerini kozmik bir hayranlık ve saygı ile çiçekleri seyrederek geçirmez. Zamanlarının çoğunu tahtaya yazılmış karmaşık matematiksel denklemlerle mücadele ederek geçirirler, ilerleme yavaş olabilir. Umut veren fikirler çoğunlukla bir yere çıkmaz. Bilimsel araştırmanın doğası budur. Ama ilerlemenin en yavaş olduğu zamanlarda bile, denklem çözerken ve hesap yaparken harcadığım çaba sayesinde evrenle daha yakın bir bağım olduğunu hissettim. Evreni anlamanın yolunun yalnızca onun gizlerini çözmek değil, bu gizlere kendimizi bırakmak da olabileceğini anladım. Yanıt bulmak harikadır. Deneyle kanıtlanan yanıtlar daha da harikadır. Ama sonunda yanlış olduğu kanıtlanan yanıtlar bile evrenle kurulan derin bir ilişkinin sonucudur; sorulara ve dolayısı ile evrenin kendisine parlak bir ışık tutan bir ilişkinin. Herhangi bir bilimsel araştırmanın "kayası" gerisin geri en başa dönecek olsa bile, bir şey öğrenmiş oluruz ve evrene ilişkin deneyimlerimiz zenginleşir.

Tabii ki bilim tarihi, ortak bilimsel araştırmalarımızın -yüzyıllar boyunca farklı kıtalardan sayısız bilim insanının oluşmasına katkıda bulunduğu- "kayasının" dağdan aşağı yuvarlanıp en başa gitmediğini gösterir. Sisyphos'un aksine, biz her şeye sıfırdan başlamıyoruz. Her kuşak kendinden öncekilerden bir şeyler devralır, öncüllerinin sıkı çalışmasına, kavrayışına ve yaratıcılığına saygı duyar ve "kayayı" biraz daha yukarı iter. Yeni kuramlar ve daha gelişmiş ölçümler bilimsel ilerlemenin işaretidir ve

bu ilerleme kendinden öncekilerin üzerine inşa edilir, hemen hemen hiçbir zaman geçmiş tamamen silinmez. Durum böyle olduğu için, bizim işimiz hiçbir zaman saçma ve amaçsız değildir. Kayayı dağın tepesine doğru iterken görevlerin en zarif ve en asilini yerine getiririz: Evimiz dediğimiz bu yerin gizemini çözmek, keşfettiğimiz harikaların tadını çıkarmak ve bilgilerimizi ardımızdan gelenlere aktarmak.

Kozmik zaman ölçeğine göre iki ayak üzerinde yürümeyi daha yeni öğrenmiş bir tür için üzerinde düşündüğü bu konular akıllara durgunluk vericidir. Ama son üç yüzyılda klasikten göreli gerçekliğe, oradan da kuantum gerçekliğine ilerlerken, şimdi de birleşik gerçeklik konusundaki keşiflerle uğraşmaktayken, aklımız ve elimizdeki araçlar uzay ve zamanda büyük mesafeler kat etmekte ve bizi, büyük bir kılık değiştirme ustası olduğunu kanıtlayan bir dünyaya her zamankinden daha fazla yaklaştırmaktadır. Yavaş yavaş maskesini sıyırdığımız evrenle, ancak gerçeğin kazandırdığı berraklığın getirebileceği bir yakınlık kurduk. Yapacağımız daha çok keşif var, ama çoğunluk türümüzün nihayet çocukluk döneminin sonuna yaklaştığını düşünüyor.

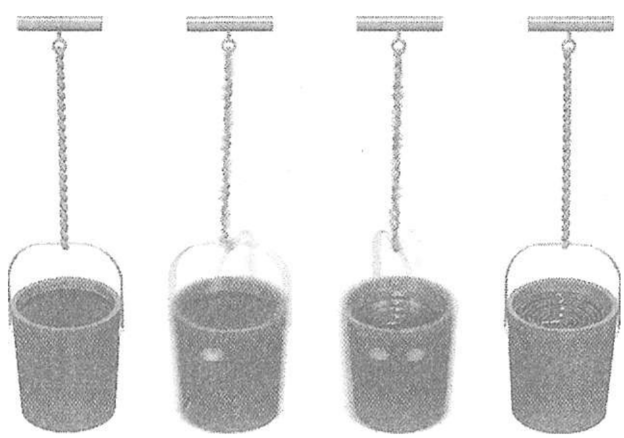
Elbette, Samanyolu'nun" dış bölgelerindeki yerimizde bu aşamaya gelişimiz uzun zaman aldı. Öyle ya da böyle binlerce yıldır evren konusunda düşünüyor ve dünyamızı keşfediyorduk. Ancak o sürenin büyük kısmında bilinmeyene doğru gitmeyi deniyor ve her seferinde eve daha akıllanmış ama büyük ölçüde değişmemiş olarak dönüyorduk. Modern bilimsel araştırmanın bayrağını çekip bir daha geri dönmemek, Newton'un atılganlığı sayesinde gerçekleşti. O günden beri hep daha ileriye gidiyoruz. Bütün yolculuğumuz da basit bir soruyla başladı.

Uzay nedir?

II. Bölüm – Evren ve Kova

Üç yüzyıl süren bir tartışmada bir kovanın ana karakter olması pek sık rastlanan bir şey olmasa gerek. Ama Sir Isaac Newton'a ait bir kova sıradan bir kova değildir. Newton'un 1689'da yaptığı basit bir deney o tarihten beri dünyanın en büyük fizikçilerinden bazılarını derinden etkilemiştir. Deney şudur: Su dolu bir kovayı alın, sapından bir halatla asın, kovayı döndürerek halatın burulmasını sağlayın ve bırakın. Başlangıçta kova dönmeye başlar ama içindeki su durağandır ve yüzeyi düzdür. Kova hızlandıkça hareketi sürtünme yoluyla yavaş yavaş suya aktarılır ve su da dönmeye başlar. Dönerken de suyun yüzeyi, Şekil 2.1 'deki gibi içbükey bir hal alır, yani kenarlarda yüksek, ortada daha alçaktır.

Deney budur; pek de insanın kalp atışlarını hızlandıracak bir şey değil. Ama biraz düşününce, dönmekte olan bu bir kova suyun son derece şaşırtıcı olduğu anlaşılır. Bizi üç yüzyıldır uğraştıran bu problemi çözmeye çalışmak, evrenin yapısını kavrama yolunda attığımız en önemli adımlar arasındadır. Bunun nedenini anlamak için biraz bilgiye gerek var, ama sonuç bu çabaya değer.



Şekil 2.1 Suyun yüzeyi başlangıçta düzdür, kova dönmeye başladığında da suyun yüzeyi düzlüğünü korur. Daha sonra, su da kova ile birlikte dönmeye başlayınca yüzeyi içbükey bir şekil alır ve su dönmeye devam ettikçe -kova yavaşlayıp durduğunda bile- yüzeyi o şekli korur.

Einstein’dan Önce Görelilik

"Görelilik' Einstein'la özdeşleştirilen bir sözcüktür ama kavramın tarihi çok daha eskidir. Galileo, Newton ve başkaları doğrusal hızın -yani bir nesnenin hareketinin doğrultusunun ve süratinin- göreli olduğunun farkındaydılar. Günümüzün terimleriyle konuşursak, bir beysbol oyununda vurucunun bakış açısına göre beysbol topu saatte 150 kilometre hızla yaklaşmaktadır. Beysbol topuna göreyse saatte 150 kilometre hızla yaklaşan vurucudur. Her iki betimleme de doğrudur; bu yalnızca bir bakış açısı sorunudur. Hareket yalnızca göreli olduğunda bir anlam ifade eder: Bir nesnenin doğrusal hızı yalnızca bir başka nesneninkine göre belirlenebilir. Büyük olasılıkla bunu yaşamışsınızdır. İçinde bulunduğunuz tren vagonunun yanında bir başka vagon varsa ve bu iki vagon birbirlerine göre hareket ediyorsa, raylar üzerinde hareket eden trenin hangisi olduğunu hemen anlayamazsınız. Galileo bu etkiyi, kendi zamanının taşıt araçları olan tekneleri kullanarak tarif etmiştir. Galileo der ki, düzgünce gitmekte olan bir teknedeyken elinizden bıraktığınız para tıpkı kıyıda olacağı gibi ayağınızın dibine düşer. Kendi bakış açınıza göre siz durağansınızdır, su ise geminin gövdesine göre hareket etmektedir. Bu bakış açısına göre siz hareketsiz olduğunuz için paranın ayağınıza göre hareketi tıpkı gemiye binmeden önceki gibidir.

Ama biraz düşünürseniz, burada bir gariplik olduğunun farkına varırsınız. Hızdaki değişimleri fark etmenizi sağlayan şey esas olarak nedir? Eğer doğrusal hız yalnızca karşılaştırmalar sonucunda -bu cisim şu cisme göre hareket ediyor- bir anlam ifade ediyorsa, nasıl oluyor da doğrusal hızdaki değişimler karşılaştırma yapmadan da anlamlı olacak şekilde farklı olabiliyor? Aslında acaba bunlar da bir tür karşılaştırma gerektiriyor olabilir mi? Acaba ivmeli hareketi her yaşadığımızda veya ondan her söz edişimizde açıkça görülmeyen, gizli bir karşılaştırma yapıyor olabilir miyiz? Yöneldiğimiz temel soru budur, çünkü bu soru -belki şaşırtıcı ama- uzay ve zamanın anlamını çevreleyen en derin konularla bağlantılıdır.

Galileo'nun hareket konusundaki kavrayışı, en önemlisi de Dünyanın hareket ettiğini söylemesi Engizisyonun gazabına uğramasına neden oldu. Çok daha ihtiyatlı olan Descartes, benzer bir akıbete uğramamak için ne yapması gerektiğini araştırdı ve Principia Philosophiae adlı eserinde hareket konusundaki -otuz yıl sonra Newton'un dikkatli incelemelerine göğüs geremeyecek olan- görüşlerini iki anlama da gelecek şekilde dikkatli bir biçimde ifade etti. Descartes, nesnelerin hareket durumlarının değiştirilmesine karşı direnç gösterdiklerinden söz ediyordu: Hareketsiz bir

cisim, birisi veya bir şey onu hareket etmeye zorlamadıkça hareketsiz kalır; bir doğru üzerinde sabit bir hızla hareket eden bir cisim, birisi veya bir şey bunu değiştirmedikçe yapmakta olduğu hareketi sürdürür. Ama Newton, bu "hareketsiz" ve "doğru üzerinde sabit bir hız" kavramları gerçekten ne anlama geliyor, diye sordu. Neye göre "hareketsiz" ve neye göre "sabit hızlı hareket"? Kimin bakış açısına göre "hareketsiz" ya da "sabit hızlı hareket"? Eğer doğrusal hız sabit değilse, neye göre ya da kimin bakış açısına göre sabit değil? Descartes hareketin bazı özelliklerini doğru bir biçimde saptamıştı, ama Newton'a göre kilit soruları yanıtsız bırakmıştı.

Newton'un -öylesine gerçeğin peşine düşmüş bir insandı ki, bir keresinde göz anatomisi çalışmak için kendi gözüyle göz kemiğinin arasına kör bir iğne sokmuştu, sonraki yıllarda Darphane Müdürü olduğunda da kalpazanlara en ağır cezaların verilmesini sağlamış ve yüzden fazla kişinin darağacına gitmesine neden olmuştu- yanlış ve eksik akıl yürütmeye hiç tahammülü yoktu. Dolayısıyla yanlışı düzeltmeye karar verdi. Kova konusunu da o zaman ortaya attı.

Kova

Kovayı bıraktığımızda hem kendisi, hem de içindeki su dönüyordu, suyun yüzeyi içbükeydi. Newton’un sorduğu soru şuydu: Suyun yüzeyi neden bu şekli alıyordu? Döndüğü için, diyebilirsiniz; nasıl otomobilde bir dönemeci dönerken yana doğru savrulduğumuzu hissedersek, su da dönmekte olan kovanın kenarlarına doğru savrulur. Bu suyun gidebileceği tek doğrultu da yukarıdır. Bu düşünce bir dereceye kadar mantıklı ve sağlam olmakla birlikte Newton'un sorusunun gerçek amacına ulaşmaktan uzaktır. Newton suyun döndüğünü söylemenin ne anlama geldiğini bilmek istiyordu: Su neye göre dönüyordu? Newton, hareket konusunun temeliyle uğraşıyordu ve ivmeli bir hareketin, örneğin dönmenin bir şekilde dış karşılaştırmalara gereksinmenin ötesinde olduğunu kabul etmeye henüz hazır değildi.

Kovanın kendisini referans cismi olarak kullanmak doğal bir öneri olurdu. Ama Newton'un ileri sürdüğü gibi bu işe yaramaz. Kova dönmeye başladığında su ile kova arasında kesinlikle göreli bir hareket vardır, çünkü su hemen hareket etmeye başlamaz. Ona rağmen suyun yüzeyi düz kalır. Derken biraz sonra, su dönerken yani kova ile su arasında göreli hareket

yokken, suyun yüzeyi içbükey olur. Yani referans cismimiz kova olursa, beklediğimizin tam tersi bir sonuç ortaya çıkar: Göreli hareket varken suyun yüzeyi düzdür, göreli hareket yokken suyun yüzeyi içbükeydir.

Aslında Newton'un kova deneyini biraz ileri götürebiliriz. Kova dönmeye devam ettikçe halat yeniden burulacak (diğer yönde) ve bu da içindeki su dönmeye devam ederken kovanın dönmesinin yavaşlamasına ve bir an için durmasına neden olacaktır, ama içindeki su dönmeye devam edecektir. Bu noktada su ve kova arasındaki göreli hareket deneyin başındakiyle aynıdır (sonucu etkilemeyen saat yönünde dönme ve saat yönünün tersi yönde dönme dışında), ama suyun yüzeyinin şekli farklıdır (önce düzdü, şimdi içbükeydir); bu da suyun yüzeyinin aldığı şeklin göreli hareketle açıklanamayacağını net bir biçimde gösteriyor.

Suyun hareketi için kovanın referans olamayacağı anlaşılınca, Newton cesur bir adım attı. Kova deneyinin bir benzerinin uzak, soğuk ve tümüyle boş uzayda yapıldığını düşleyin, dedi. Suyun yüzeyinin şekli kısmen Dünya’nın kütleçekiminden kaynaklandığı ve bu deneyde de Dünya olmadığı için aynı deneyi yapamayız. O nedenle, uygulanabilir bir örnek olarak boş uzayın karanlığında yüzen dev bir kovamız olduğunu ve korkusuz astronot Homer'in bu dev kovanın içyüzüne sıkıca bağlı olduğunu düşünün. (Aslında Newton bu örneği vermedi, onun verdiği örnekte birbirine iple bağlı iki taş vardı, ama anlatılmak istenen şey aynıdır.) Homer'in kovaya doğru bastırıldığını hissetmesi, yüzünün derisinin gerilmesi, midesinde hafif bir basınç oluşması ve saçlarının (her iki telin de) geriye doğru gitmesi kovanın döndüğünün (suyun kovanın çeperine doğru savrularak içbükey bir yüzey oluşturmasının benzeri) işaretidir. Soru şudur: Tamamen boş uzayda -Güneş yok, Dünya yok, hava yok, çörek yok, hiçbir şey yok- kovanın "ona göre" dönmekte olduğunu söyleyebileceğimiz "o şey" ne olabilir? Uzayın kova ve içindekiler dışında tamamen boş olduğunu düşündüğümüzden ilk bakışta "o şey" olarak kullanabileceğimiz bir şey yokmuş gibi görünür. Ama Newton aynı fikirde değildi.

Onun yanıtı, değerlendirme çerçevesi olarak "nihai kabı" yani uzayın kendisini seçmekti. Hepimizin içinde olduğu ve tüm hareketlerin içinde yer aldığı -kendisinin mutlak uzay adını verdiği- saydam ve boş alanın gerçek bir fiziksel varlık olduğunu ileri sürdü. Mutlak uzayı tutamayız, tadamayız, koklayamayız ve işitemeyiz, ama Newton mutlak uzayın "bir şey" olduğunu söyledi. Mutlak uzayın, hareketi tanımlamak için gereken en sağlam değerlendirme çerçevesi olduğunu öne sürdü. Bir cisim eğer mutlak uzaya

göre durağansa, gerçekten durağandır. Bir cisim eğer mutlak uzaya göre hareket ediyorsa, gerçekten hareket halindedir. En önemlisi de, bir cisim eğer mutlak uzaya göre ivmeleniyorsa, gerçekten ivmeleniyordur.

Newton bu önermeyi, yeryüzünde yapılan kova deneyini açıklamak için şu şekilde kullandı: Deneyin başında kova mutlak uzaya göre dönmektedir, ama su mutlak uzaya göre durağandır. Suyun yüzeyinin düz olmasının nedeni budur. Su kovayla beraber dönmeye başladığında artık mutlak uzaya göre dönmektedir, yüzeyinin içbükey olmasının nedeni budur. Halatın burulması nedeniyle kova yavaşladığında, su dönmeye devam eder -mutlak uzaya göre dönmeye devam eder- yüzeyinin içbükey olarak kalmasının nedeni de budur, işte, su ile kova arasındaki göreli hareket gözlemleri açıklayamazken, su ile mutlak uzay arasındaki göreli hareket açıklamaktadır. Hareketi tanımlamak için gerekli olan gerçek referans sistemini uzayın kendisi sağlamaktadır.

Kova yalnızca bir örnektir; doğal olarak buradaki akıl yürütme çok daha geneldir. Newton'un bakış açısına göre, otomobilde bir dönemeci dönerken mutlak uzaya göre ivmelendiğiniz için doğrusal hızınızdaki değişikliği hissedersiniz, içinde bulunduğunuz uçak pistten havalanmak üzere hızlanırken mutlak uzaya göre ivmelendiğiniz için koltuğa doğru bastırıldığınızı hissedersiniz. Buz pateniyle kendi ekseniniz çevresinde dönerken mutlak uzaya göre ivmelendiğiniz için kollarınızın dışarıya doğru açıldığını hissedersiniz. Eğer siz buzun üzerinde hareketsiz dururken birisi buz pistini tutup döndürebilecek olsaydı (ideal olarak patenlerin sürtünmesiz olduğunu varsayıyoruz) -ve böylece sizinle buz pisti arasında aynı göreli hareket ortaya çıksaydı- mutlak uzaya göre ivmelenmeyeceğiniz için kollarınızın dışarı doğru açıldığını hissetmezdiniz. İnsan vücudunun kullanıldığı örneklerin ayrıntılarında boğulmamak için, Newton'un birbirine iple bağlı iki taş örneğini düşünelim. Taşlar dönerken mutlak uzaya göre ivmelendikleri için ip gerilir. Hareket etmenin ne demek olduğu konusunda son sözü mutlak uzay söylemektedir.

Ama mutlak uzay aslında nedir? Bu soruyla uğraşırken Newton biraz kaçamak yanıtlar verdi. Principia'da önce şöyle yazmıştı: "Herkesin bildiği şeyler olduğu için zamanı, uzayı, yeri ve hareketi tanımlamıyorum."" Böylece bu terimleri kesin bir biçimde tanımlamaktan kaçınmış oluyordu. Sonraki şu sözleri ise ünlü olmuştur: "Mutlak uzay, doğası gereği, herhangi bir dış noktayı referans almaksızın, her zaman aynıdır ve hareketsizdir."

Yani, mutlak uzay vardır ve ebedidir, nokta. Ama doğrudan göremeyeceğimiz, ölçemeyeceğimiz ve üzerinde bir etkimizin olamayacağı bir şeyin varlığını ve önemini sadece ilan ederken Newton'un kendini pek de rahat hissetmediğinin bazı işaretleri vardı. Şöyle yazmıştır:

> Bazı cisimlerin gerçek hareketlerini keşfetmek ve görünen hareketlerinden etkin bir biçimde ayırmak gerçekten son derece zordur, çünkü bu hareketlerin yer aldığı hareketsiz uzayın bölümlerini duyularımızla gözlemlemek imkânsızdır.

Böylece Newton bizi biraz sıkıntılı bir durumda bırakıyor. Mutlak uzayı fiziğin en temel unsurlarından birinin hareketin tanımının merkezine yerleştiriyor, ama tanımı belirsiz bırakıyor ve böylesine önemli bir konuyu böyle kaçamak bir biçimde ele almaktan duyduğu rahatsızlığı da ifade ediyor. Bu rahatsızlığı başkaları da paylaşmıştır.

Uzay Karmaşası

Bir keresinde Einstein, birisi "kırmızı", "sert" veya "düş kırıklığına uğramış" dediği zaman hepimiz ne demek istendiğini anlarız, demişti. Ama "psikolojik deneyimle bağlantısı daha dolaylı olan 'uzay' sözcüğüne gelince, etki alanı çok geniş bir yorum belirsizliği vardır."[5] Bu belirsizliğin tarihçesi oldukça eskidir. Uzayın anlamını çözmek için verilen uğraş antik çağlara kadar gider. Çağlar boyunca Uzay'ın anlamını şu ya da bu nedenle araştıranlar arasında Demokritos, Epikuros, Lucretius, Pythagoras, Platon, Aristoteles ve onların birçok takipçisi vardı. Uzay ve madde arasında bir fark var mıdır? Uzayın, maddesel cisimlerden bağımsız bir varlığı var mıdır? Boş uzay diye bir şey var mıdır? Uzay ve madde karşılıklı olarak birbirlerini dışlar mı? Uzay sonlu mudur, sonsuz mu?

Son bin yılda uzayın felsefi açıdan çözümlenmeye çalışılması genellikle dinbilimsel araştırmalarla birlikte ortaya çıkmıştır. Bazılarına göre Tanrı her yerdedir, bu da uzaya tanrısal bir karakter verir. Bu düşünce biçimi, kimilerinin Newton'un akıl hocalarından biri olmuş olabileceğini düşündüğü on yedinci yüzyıl filozofu ve dinbilimcisi Henry More tarafından savunulmuştur. More, uzay boş olsaydı var olmazdı diye düşünüyordu, ama aynı zamanda bunun çok da anlamı olmayan bir gözlem olduğunu, çünkü maddesel cisimler olmasa bile uzayın ruhla dolu olduğunu ve hiçbir zaman gerçekten boş olmadığını söylüyordu. Newton da benzer

bir fikre sahipti, uzayın maddesel cisimler kadar "ruhsal maddeyle" de dolu olduğunu kabul ediyordu, ama bu ruhsal maddenin "maddenin hareketine engel olmadığını" ekleyecek kadar da dikkatliydi. Newton, mutlak uzayın Tanrı'nın idrak edilişi olduğunu ileri sürüyordu.

Uzay konusundaki böylesi felsefi ve dinsel düşünceler ikna edici ve kışkırtıcı olabilir, ama Einstein'ın yukarıda aktardığımız uyarıcı yorumunda olduğu gibi, bu düşünceler net bir betimleme özelliğinden yoksundur ki bu da çok önemlidir. Ama böyle söylemlerden ortaya çıkan çok temel ve kesin olarak tanımlanmış bir soru vardır. Uzaya daha sıradan maddesel cisimlere (örneğin şimdi elinizde tutmakta olduğunuz kitaba) atfettiğimiz gibi bağımsız bir gerçeklik atfetmeli miyiz, yoksa uzayı sıradan maddesel cisimler arasındaki ilişkileri tanımlamak için yalnızca bir dil olarak mı yorumlamalıyız?

Newton'un çağdaşı, büyük Alman lilozof Gottfried Wilhelm von Leibniz uzayın beylik anlamda var olmadığından emindi. Uzaydan bahsetmenin, şeylerin birbirlerine göre yerlerini belirlemenin kolay ve elverişli bir yolundan başka bir şey olmadığını iddia ediyordu. İçinde cisimler olmazsa uzayın kendisinin bağımsız bir anlamı ya da varlığı olmadığını ileri sürüyordu. İngiliz alfabesini düşünün. Yirmi altı harften oluşur, harflerin birbirlerine göre belli ilişkileri vardır: a ile b yan yanadır; d ile ı arasında beş harf vardır; x u'dan iki harf sonra gelir vb. Ama harfler olmazsa alfabenin de bir anlamı yoktur; "harfler-üstü" bağımsız bir varlığı yoktur. Tersine, alfabe harflerle ve bu harfler arasında belirlediği ilişkilerle varlığa kavuşur. Leibniz, aynı şeyin uzay için de geçerli olduğunu iddia ediyordu: Uzayın, bir cismin konumuyla başka bir cismin konumu arasındaki ilişkiyi tartışmak için doğal bir dil sağlamanın ötesinde bir anlamı yoktu. Leibniz'e göre eğer uzaydan bütün cisimler çıkarılacak olsaydı -yani eğer uzay tamamen boş olsaydı- harfleri olmayan bir alfabe kadar anlamsız olurdu.

Leibniz, göreci adı yakıştırılan bu konumunu desteklemek amacıyla bir dizi sav ileri sürdü. Örneğin, eğer uzay gerçekten bir varlıksa, bir arka plan maddesiyse, Tanrı’nın evreni bu madde içinde nereye yerleştireceğini seçmiş olması gerektiğini söyledi. Ama hiçbir kararı asla rastgele ve gelişigüzel olmayan, tüm kararları sağlam nedenlere dayanan Tanrı, bir örnek uzay boşluğunun bir köşesini nasıl diğer bir köşesine tercih etmiş olabilirdi? Bilimsel algıları güçlü olanlara bu sav ucuz gelir. Bununla birlikte, Leibniz'in ileri sürdüğü diğer savlarda yaptığı gibi, bu savdan da dinbilimsel öğeler çıkartılırsa güç sorularla karşı karşıya kalırız: Evrenin uzaydaki yeri neresidir? Eğer evren, içindeki her şeyin birbirine göre konumları aynı kalmak koşuluyla, bir bütün olarak birkaç metre sağa ya da

sola hareket ettirilebilseydi, bunu nasıl anlardık? Evrenin uzay maddesi içindeki hızı nedir? Uzayı ve uzayın içindeki değişiklikleri temel olarak saptayamıyorsak, uzayın gerçekten var olduğunu nasıl iddia edebiliriz?

İşte tam burada Newton kovasıyla sahneye çıktı ve tartışmanın karakterini kökten değiştirdi. Newton da mutlak uzayın belirli özelliklerinin doğrudan saptanmasının çok zor, hatta olanaksız göründüğünü kabul ediyordu, ama mutlak uzayın varlığının gözlenebilir bazı sonuçları olduğunu kanıtlamaya çalıştı: Dönen kova örneğinde olduğu gibi, bazı ivmelenmeler, mutlak uzaya göre ivmelenmedir. Dolayısıyla Newton'a göre, kovadaki suyun yüzeyinin içbükey olması, mutlak uzayın varlığının bir sonucuydu. Newton'a göre, ne kadar dolaylı bir yoldan olsa da, bir şeyin varlığı konusunda sağlam bir kanıt varsa, tartışma sona ererdi. Tek bir zekice darbeyle Newton, uzay konusundaki tartışmayı felsefi düşüncelerden bilimsel olarak kanıtlanabilir verilere kaydırdı. Bunun yarattığı etki sanki elle tutulabilir gibiydi. Fazla gecikmeksizin Leibniz de kabul etmek zorunda kaldı: "Bir cismin mutlak gerçek hareketi ile bir başka cisme göre yalnızca konumunun değişmesi arasında bir fark olduğunu kabul ediyorum." Bu, Newton'un mutlak uzayına boyun eğme değil, göreci konuma sıkı bir darbeydi.

Sonraki iki yüzyıl boyunca Leibniz'in ve başkalarının uzaya bağımsız bir gerçeklik atfeden savlan bilim dünyasında bir yankı uyandırmadı. Sarkaç Newton'un uzay anlayışına doğru kaymıştı; mutlak uzay kavramı üzerine temellendirdiği hareket yasaları bütün dikkati üzerine çekti. Açıktır ki bu yasaların kabul görmesinin temel nedeni, hareketi betimlemekteki başarılarıydı. Ancak Newton'un fizikteki tüm başarılarını, gerçekten önemli tek keşfi olarak gördüğü mutlak uzay kavramını destekleyen sağlam bir temel olarak düşünmesi, çarpıcıdır. Newton için her şey uzayla ilgiliydi

Mach ve Uzayın Anlamı

Büyüme çağlarımda, babamla birlikte Manhattan sokaklarında yürürken bir oyun oynardık. Birimiz çevreye bakar ve o an çevrede olan bir şeyi seçer -hızla geçen bir otobüs, bir pencere pervazına konan bir güvercin, yere bozuk para düşüren bir adam- ve o olayın otobüsün tekerleği, uçan güvercin veya yere düşmekte olan madeni para gibi sıra dışı bir bakış açısından nasıl görüneceğini anlatırdı. Bilmeceyi çözmek için "Alçak, dokulu duvarları olan karanlık ve silindirik bir yüzeyde yürüyorum ve

gökten kalın, kıvırcık ve beyaz bir nesne yağıyor" gibi tuhaf bir ifadenin, bir sokak satıcısının içine lahana turşusu koymakta olduğu sosisli sandviçin üzerinde yürüyen bir karıncanın bakış açısı olduğunu bulmak gerekiyordu. Her ne kadar ben ilk fizik dersimi almadan yıllarca önce bu oyunu oynamayı bırakmış olsak da, Newton yasalarıyla ilk karşılaştığımda çektiğim zorluğun nedenlerinden biri bu oyun olabilir.

Bu oyun dünyaya farklı bakış açılarından bakmayı destekliyor ve her bakış açısının diğeri kadar geçerli olduğunu vurguluyordu. Ama Newton'a göre, dünyaya istediğiniz perspektiften bakmakta kesinlikle özgür olsanız da, farklı bakış açıları hiçbir biçimde eşit değildir. Buz patencisinin pateninin üzerindeki bir karıncanın bakış açısından, dönen pist ve salondur; tribündeki bir seyircinin bakış açısından ise, dönen patencidir. Bu iki bakış açısı da aynı derecede geçerli, eşit ve yerleri her iki dönüşün birbirlerine göre simetrik olan ilişkisi üzerinde gibi görünüyor. Ama Newton'a göre, bu perspektiflerden biri diğerine göre daha doğrudur. Çünkü eğer gerçekten dönen patenciyse kolları dışarı doğru açılacaktır, ama eğer gerçekten dönen pist ise patencinin kolları dışarı doğru açılmayacaktır. Newton’un mutlak uzay kavramını kabul etmek, mutlak bir ivme kavramını ve özellikle de kimin ya da neyin gerçekten döndüğü konusunda mutlak bir yanıtı kabul etmek anlamına geliyordu. Nasıl olup da bunun doğru olabileceğini anlamaya çalıştım. Başvurduğum her kaynak -ders kitapları da, öğretmenler de- sabit hızlı hareket söz konusu olduğunda yalnızca göreli hareketin önemi olduğu konusunda fikir birliği içindeydi. O halde ivmeli hareketin neden o kadar farklı olduğunu bir türlü anlayamıyordum. Hızı sabit olmayan hareket göz önüne alındığında, neden önemli olan tek şey -tıpkı göreli hız gibi- göreli ivme olmuyordu? Mutlak uzayın varlığı tersini emrediyordu, ama bana bu durum son derece garip görünüyordu.

Çok sonra, son birkaç yüzyıl içinde pek çok fizikçinin ve filozofun -kimi zaman yüksek sesle, kimi zaman sessizce- tam da bu konuyla uğraştığını öğrendim. Her ne kadar Newton'un kovası bir bakış açısını değil de öbürünü tercih edenin mutlak uzay olduğunu kesin olarak gösteriyor gibi görünse de (eğer biri ya da bir şey mutlak uzaya göre dönüyorsa gerçekten dönüyordur, yoksa dönmüyordur) bu konu üzerinde düşünen pek çok kimse için bu çözüm hiç doyurucu değildi. Mutlak uzay kavramı, hiçbir bakış açısının diğerinden "daha doğru" olamayacağına ilişkin içkin hissin ötesinde, Leibniz'in yalnızca maddesel cisimler arasındaki göreli hareketin bir anlamı olduğu yolundaki gayet mantıklı önermesinin ötesinde, pek çok kişinin, mutlak uzayın nasıl olup da -kova örneğinde olduğu gibi- gerçek ivmeli hareketi belirlememize olanak verirken, gerçek sabit hızdaki

hareketi tanımlamamıza olanak vermediği sorusunu sormasına yol açmıştır. Ne de olsa, eğer mutlak uzay gerçekten varsa, yalnızca ivmeli hareket için değil her tür hareket için bir ölçüm referansı sağlamalıdır. Eğer mutlak uzay gerçekten varsa, o zaman neden bulunduğumuz konumu, başka maddesel cisimlere göre değil de mutlak olarak bilmemize olanak sağlamıyor? Eğer mutlak uzay gerçekten varsa, o zaman neden biz görünüşe göre ona hiçbir etki yapamazken o bizi etkileyebiliyor, örneğin kendi eksenimiz çevresinde dönerken kollarımızın dışarı doğru açılmasına neden oluyor?

Newton'un çalışmalarından sonraki yüzyıllarda bu konular zaman zaman tartışıldı, ama Avusturyalı fizikçi ve filozof Ernst Mach sahneye çıkıp uzay konusunda cesur, ileriyi gören ve son derece etkileyici yeni bir kuram önerdiğinde 1800'lerin ortalarına gelinmişti. Başka şeylerin yanı sıra, bu kuramın ileride Albert Einstein üzerinde derin etkisi olacaktı.

Mach'ın kavrayışını anlamak için -daha doğrusu, genellikle Mach'a atfedilen görüşlerin çağdaş bir yorumu için- kovaya geri dönelim. Newton'un savında garip bir yan vardır. Kova deneyi bizi, suyun yüzeyinin neden bir durumda düz, diğer bir durumda ise içbükey olduğunu açıklamaya davet ediyor. Açıklama ararken, iki durumu da inceledik ve bunlar arasındaki en önemli farkın suyun dönüp dönmemesi olduğunu bulduk. Suyun yüzeyinin şeklini hareket durumu ile açıklamaya çalışmamızda şaşırtıcı bir yan yok. Ama işte önemli nokta da burada: Mutlak uzayı öne sürmeden önce, Newton suyun hareket durumunun belir-lenmesi için olası referans sistemi olarak yalnızca kovaya odaklanmıştı, ama gördüğümüz gibi bu yaklaşım başarısız oluyor. Ancak suyun hareketini saptamak için kullanabileceğimiz başka doğal referans sistemleri de var, örneğin deneyin yapıldığı laboratuvarın zemini, duvarları, tavanı. Bu deneyi güneşli bir günde açık havada yapacak olsaydık, çevredeki binalar veya ağaçlar ya da ayağımızın altındaki toprak suyun dönüp dönmediğini saptamak için kullanabileceğimiz "durağan" referans noktaları oluştururlardı. Aynı deneyi uzayda yapacak olsaydık, uzak yıldızları durağan referans noktalarımız olarak kullanabilirdik.

Bu da şöyle bir soru doğurur. Newton kovayı kolayca bir kenara fırlatıp atabilir ve gerçek hayatta başvurmaya meyilli olduğumuz, örneğin su ve laboratuvar, su ve Dünya veya su ve gökyüzündeki sabit yıldızlar arasındaki göreli hareketi hızlıca atlayıp geçebilir miydi? Böyle bir göreli hareket, mutlak uzay kavramının kullanılması ihtiyacını ortadan kaldırarak, suyun yüzeyinin şeklini açıklayabilir miydi? Mach'ın 1870'lerde ortaya attığı sorgulama mantığı buydu.

Mach'ın bakış açısını daha iyi anlayabilmek için uzayda olduğunuzu, kendinizi sakin, hareketsiz ve ağırlıksız hissettiğinizi hayal edin. Çevrenize baktığınızda görebildiğiniz uzak yıldızlar da tamamen hareketsiz görünüyor. (Bu, gerçek bir Zen anıdır.) Tam bu sırada yanınızdan biri geçiyor, sizi tutup kendi çevrenizde döndürmeye başlıyor, iki şey fark edersiniz. İlki, kol ve bacaklarınız çekiliyormuş gibi hissedersiniz ve eğer serbest bırakırsanız dışarı doğru açılırlar, ikincisi, uzak yıldızlara baktığınızda, yıldızlar size artık hareketsiz görünmez; uzak gökyüzünde devasa çemberler çizerek dönüyor gibi görünürler. Yaşadığınız bu deneyim, vücudunuzun üzerine etkiyen bir kuvveti hissetmek ile uzak yıldızlara göre harekete tanık olmak arasında yakın bir ilişki olduğunu ortaya koyar. Aynı deneyi bu sefer farklı bir ortamda tekrarlarken bunu aklınızda tutun.

Şimdi de tümüyle boş uzayın simsiyah boşluğunda olduğunuzu hayal edin: Galaksiler yok, yıldızlar yok, gezegenler yok, hava yok, mutlak siyahlıktan başka hiçbir şey yok. (Gerçek bir varoluşçu an.) Bu kez dönmeye başladığınızda bunu hissedebilir misiniz? Kol ve bacaklarınız dışarı doğru çekiliyormuş gibi hisseder misiniz? Gündelik hayattaki deneyimlerimiz bizi "evet" demeye yöneltiyor: Ne zaman dönmeme durumundan (hiçbir şey hissetmediğimiz durum) dönme durumuna geçsek, kol ve bacaklarımız dışarı doğru çekileceği için farkı hissederiz. Ama şu son örnek hiçbirimizin yaşadığı hiçbir şeye benzemiyor. Bildiğimiz evrende her zaman, çeşitli hareket durumlarımız için referans noktası olarak kullanabileceğimiz yakın veya uzak (örneğin uzak yıldızlar) başka maddesel cisimler vardır. Ama verdiğimiz bu örnekte "dönmeme" durumunu "dönme" durumundan diğer maddesel cisimlerle karşılaştırma yaparak ayırt etmenizin olanağı yoktur; çünkü başka maddesel cisimler yoktur. Mach bu gözlemi çok önemsedi ve çok büyük bir adım daha ileri götürdü. Bu durumda, çeşitli dönme durumları arasında bir fark hissedilmesinin de bir yolu olmayabileceğini ileri sürdü. Daha doğrusu, Mach biz hariç boş bir evrende dönme ve dönmeme arasında bir fark olmayacağını -karşılaştırma için bir referans noktası olmadığı zaman hareket ve ivme kavramı yoktur- dolayısı ile dönme ve dönmemenin aynı olduğunu ileri sürüyordu. Mach'a göre, eğer Newton un birbirine iple bağlanmış taşları boş uzayda dönüyor olsaydı ip gerilmeyecekti. Eğer boş bir evrende dönüyor olsaydınız, kol ve bacaklarınız dışarı doğru açılmayacak, kulak sıvınız etkilenmeyecek, hiçbir şey hissetmeyecektiniz.

Bu derinliği olan ve kolayca anlaşılmayan bir öneridir. Tam olarak anlamak için, kendinizi verilen örneğin içinde gerçekten de düşünebilmeniz ve tamamen boş uzayın siyah, tekdüze durgunluğunu tam olarak hayal

etmeniz gerekir. Bu durum, ayağınızın altında zemini hissettiğiniz veya gözlerinizin kapıdan ya da pencereden sızan çok az miktardaki ışığa yavaş yavaş uyum sağladığı karanlık bir odada olmaya hiç benzemez. Tersine, çevrede hiçbir şey olmadığını hayal ediyoruz; o nedenle kesinlikle zemin de yoktur, gözlerin uyum sağlayacağı ışık da. Nereye uzandığınıza ya da baktığınıza bağlı olmaksızın, kesinlikle hiçbir şey görmez ve hissetmezsiniz. Değişmez siyahlıkta bir koza sizi sarmış durumda, karşılaştırma yapmak için kullanabileceğiniz hiçbir maddesel varlık yok. Mach'ın iddiası şuydu: Karşılaştırma cisimleri olmadan hareket ve ivme kavramları anlamlarını kaybeder. Konu sadece döndüğünüzde bir şey hissetmeyecek olmanızla ilgili değil, çok daha temel bir şey. Boş bir evrende tamamen hareketsiz olmak ve düzgün bir biçimde dönmek birbirinden farklı şeyler değildir.

Newton buna katılmazdı tabii. O, tamamen boş uzayda bile uzay olduğunu öne sürmüştü. Her ne kadar uzay dokunulamayan ve doğrudan elle tutulamayan bir şey ise de, Newton'a göre, yine de cisimlerin kendisine göre hareket ettiğini söyleyebileceğimiz bir şey sağlıyordu. Ama Newton'un bu sonuca nasıl ulaştığını anımsayın: Dönme hareketi üzerinde düşündü ve laboratuvarda elde edilen sonuçların (suyun yüzeyi içbükey bir şekil alır; Homer vücudunun dev kovanın kenarlarına doğru bastırıldığını hisseder; kendi çevrenizde dönerken kollarınız dışarı doğru açılır; dönmekte olan iki taşı bağlayan ip gerilir) deneylerin boş uzayda yapılması durumunda da aynı kalacağını varsaydı. Bu varsayım, Newton'u boş uzayda hareketin kendisine göre tanımlanabileceği bir şey aramaya yöneltti; o şeyin de uzayın kendisi olduğunu öne sürdü. Mach, bu kilit varsayıma meydan okudu: Laboratuvarda olanların tamamen boş uzayda olmayacağını öne sürdü.

Mach in başlattığı bu tartışma, iki yüzyıldan uzun zamandır Newton'un çalışmalarına yönelik en önemli meydan okumaydı ve yıllar boyunca da fizik dünyasını sarsmaya devam etti (dahası, Vladimir İliç Lenin Londra'da yaşadığı 1909 yılında yazdığı felsefi bir kitapçıkta başka konuların yanı sıra Mach'ın çalışmasının bazı yönlerini de tartışmıştır"). Fakat eğer Mach haklı ise ve boş evrende dönme kavramı yoksa bile -ki bu Newton'un mutlak uzay kanıtlamasını boşa çıkarır- yeryüzünde yapılan ve suyun yüzeyinin içbükey şekil aldığı kova deneyi gene açıklamasız kalıyor. Mach suyun yüzeyinin aldığı şekli mutlak uzay kavramına başvurmadan -eğer mutlak uzay "bir şey" değilse- nasıl açıklayacaktı? Bu sorunun yanıtı, Mach'ın akıl yürütme biçimine yapılan basit bir itiraz üzerinde düşünürken ortaya çıkıyor.

Mach, Hareket ve Yıldızlar

Mach'ın düşündüğü gibi tamamen boş değil de gökyüzüne saçılmış bir avuç yıldızın olduğu bir uzay hayal edin. Eğer dış uzayda yaptığınız dönme deneyini şimdi yaparsanız, yıldızlar -her ne kadar çok uzaklardaki ışık noktacıkları gibi görünüyorlarsa da- hareket durumunuzu saptamakta kullanabileceğiniz referans noktaları haline gelirler. Dönmeye başladığınızda, uzaktaki ışık noktacıkları sizin çevrenizde dönüyor gibi görünecektir. Yıldızlar dönme durumunu dönmeme durumundan ayırabilmenizi sağlayan görsel referans noktaları olduğundan, aynı zamanda döndüğünüzü hissetmeyi da beklersiniz. Ama uzaktaki birkaç yıldız nasıl böyle büyük bir fark yaratabilir? Varlıkları ya da yoklukları, dönme hissini (yani daha genel olarak, ivmeli hareket hissini) nasıl olur da bir anahtar gibi açıp kapayabilir? Eğer yalnızca uzakta birkaç yıldızın olduğu bir evrende dönme hareketini hissedebiliyorsanız, bu belki de Mach'ın görüşünün hatalı olduğu anlamına geliyordur; belki de Newton'un varsaydığı gibi, boş bir evrende de dönme hareketini hissedersiniz.

Mach buna şöyle bir yanıt verdi. Mach'a göre, boş bir evrende dönerseniz hiçbir şey hissetmezsiniz (daha doğrusu, dönme ve dönmeme kavramları bile yoktur). Spektrumun diğer ucuna gittiğinizde, yani yıldızlarla ve gerçek evrenimizde var olan diğer maddesel cisimlerle dolu bir evrende gerçekten döndüğünüzde kol ve bacaklarınızda savrulma kuvvetini hissedersiniz. (Deneyin.) Asıl önemli nokta şudur: Mach boş olmayan ama bizimkinden daha az madde içeren bir evrende dönerken hissedeceğiniz kuvvetin, sıfır ile bizim evrenimizde hissettiğinizin arasında bir yerde olacağını öne sürüyordu. Yani, hissettiğiniz kuvvetle evrendeki madde miktarı orantılıdır. Eğer içinde tek bir yıldız olan bir evrende dönerseniz, vücudunuzda çok küçük bir kuvvet hissedersiniz, iki yıldızlı bir evrende bu kuvvet biraz daha fazla olur ve bu böyle gider. Sonunda içindeki madde miktarı bizim evrenimizdekine eşit olan evrene geldiğinizde, dönerken o bildiğiniz savrulma kuvvetini hissedersiniz. Bu yaklaşımda, ivme sonucu hissettiğiniz kuvvet, evrendeki tüm diğer maddenin toplu etkisi olarak ortaya çıkar.

Bu önerme yalnızca dönme için değil bütün diğer ivmeli hareketler için de geçerlidir. Mach'ın görüşüne göre içinde bulunduğunuz uçak pistte ivmelenirken, içinde bulunduğunuz otomobil ani bir fren yapıp durduğunda, içinde bulunduğunuz asansör yükselmeye başlarken

hissettiğiniz kuvvet, evreni oluşturan bütün maddenin birleşik etkisini temsil etmektedir. Daha fazla madde olsaydı, daha büyük bir kuvvet hissederdiniz. Daha az madde olsaydı, hissedeceğiniz kuvvet de daha küçük olurdu. Hiç madde olmasaydı, hiçbir şey hissetmezdiniz. Yani Mach'ın düşünüşüne göre yalnızca göreli hareket ve göreli ivme önemlidir. İvmelendiğinizi yalnızca evrendeki diğer maddenin ortalama dağılımına göre ivmelendiğiniz zaman hissedersiniz- Mach, madde yoksa -yani karşılaştırma için gerekli referans sistemi yoksa- ivmeyi hissetmenin imkânsız olduğunu öne sürüyordu.

Birçok fizikçi için bu, geçen yüz elli yıl içinde evren konusunda ortaya atılan en büyüleyici önermeydi. Kuşaklar boyunca fizikçiler, uzayın dokunulamaz, yakalanamaz dokusunun gerçekten bir şey -hareket için nihai ve mutlak bir referans sistemi sağlayacak kadar sağlam bir şey- olduğu fikrini heyecan verici bulmuştur. Kimileri hareket kavrayışını böylesine algılanamaz, duyularımızın bu kadar ötesinde, o kadar ki neredeyse mistisizmin sınırındaki bir şey üzerine temellendirmeyi saçma veya en azından bilimsel açıdan sorumsuzluk olarak görmüştür. Aynı fizikçiler Newton'un kovasını başka nasıl açıklayabileceklerini araştırdılar. Mach'ın görüşleri heyecan yaratmıştı, çünkü bu görüşler yeni bir yanıt olasılığını da peşinde getiriyordu: Uzayın "bir şey" olmadığı bir yanıt, Leibniz'in savunduğu gibi uzayın göreci olarak kavranmasına işaret eden bir yanıt. Mach'a göre uzay, Leibniz'in de hayal ettiğine çok benziyordu; iki ayrı cismin konumları arasındaki ilişkiyi ifade etmek için bir dildi. Ama harfleri olmayan alfabe gibi uzayın da bağımsız bir varlığı yoktur.

Mach, Newton'a Karşı

Mach'ın görüşlerini üniversite öğrencisiyken öğrendim, bu benim için lütuf gibi bir şeydi. Yalnızca göreli hareket ve göreli ivme anlamlı olduğu için, bütün bakış açılarına eşit davranan bir uzay ve hareket kuramı vardı demek. Hareketi değerlendirmek için Newton'un düşündüğü referans sistemi -mutlak uzay denilen görünmez şey-yerine, Mach'ın önerdiği sistem -evrene dağılmış olan madde- herkesin görebileceği gibi ortadaydı. Mach'ın yanıtının doğru yanıt olduğuna emindim. Bu tepkiyi veren tek kişi olmadığımı da öğrenmiştim; Mach'ın görüşleriyle ilk karşılaştıklarında hemen ikna olan, aralarında Albert Einstein'ın da olduğu bir dizi fizikçinin yolunda gidiyordum. Mach haklı mı? Kovasının girdabına kapılan Newton,

uzay konusunda zayıf bir sonuca mı ulaşmıştı? Newton'un mutlak uzayı var mı, yoksa sarkaç açık bir biçimde göreci bakış açısını mı işaret ediyor? Mach'ın görüşlerini açıkladığı ilk on beş yirmi yıl boyunca bu sorular yanıtlanamadı. Bunun nedeni büyük ölçüde, Mach'ın önermesinin tam bir kuram ya da tanımlama olmamasıydı; çünkü Mach evrendeki maddenin sözü edilen etkiyi nasıl gösterdiğini anlatmıyordu. Eğer görüşleri doğru idiyse, kendi çevrenizde döndüğünüzde döndüğünüzü hissetmenize uzak yıldızlar ve yandaki ev nasıl katkıda bulunuyor? İleri sürdüğü şeyin gerçekleşmesini sağlayacak fiziksel bir mekanizma olmadan Mach'ın görüşlerini herhangi bir kesinlikle araştırmak çok zordu.

Bugünden bakınca yapılacak mantıklı bir tahmin, Mach'ın önermesinde sözü edilen etki ile kütleçekiminin bir ilintisi olabileceğidir. Sonraki yıllarda bu olasılık Einstein'ın dikkatini çekmiş ve kendi kütleçekim kuramını, genel görelilik kuramını geliştirirken Mach'ın önermesinden esinlenmiştir. Göreliliğin kaldırdığı toz duman sonunda yatıştığında, uzayın "bir şey" olup olmadığı -mutlakçı ya da göreci bakışın doğru olup olmadığı- sorusu, evrene daha önceki yaklaşımların tümünü yıkacak bir şekilde değişmişti.

III. Bölüm - Görelilik ve Mutlak

Bazı keşifler sorulara cevap getirir. Bazı keşifler o kadar derindir ki, sorulara yepyeni bir ışık tutar ve daha önce bize gizem gibi görünen şeylerin, bilgi eksikliği nedeniyle öyle algılandığını gösterirler. Tüm yaşamınızı -antik çağlarda bazılarının yaptığı gibi- Dünya'nın kenarına vardığınızda ne olacağını veya Dünya'nın altında kimin ya da neyin yaşadığını bulmaya çalışarak geçirebilirsiniz. Ama Dünya'nın yuvarlak olduğunu öğrendiğinizde, önceki gizlerin çözülmediğini, geçersiz hale geldiklerini görürsünüz.

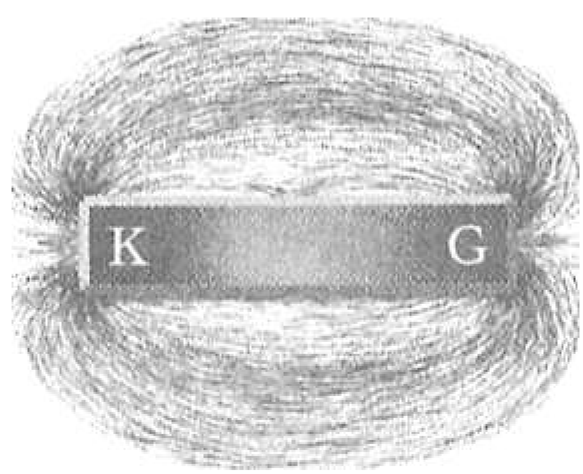
Yirminci yüzyılın ilk yirmi yılında Albert Einstein iki büyük keşif yaptı. Bu keşiflerden her biri uzay ve zaman kavrayışımızı altüst etti. Einstein Newton'un diktiği değişmez yapıları yıktı ve uzayla zamanı hiç umulmadık bir biçimde birleştirerek kendi kulesini dikti, işini bitirdiğinde zaman uzayla o kadar iç içe girmişti ki, birinin varlığı olmadan diğeri düşünülemiyordu bile. Dolayısı ile yirminci yüzyılın üçüncü on yılından başlayarak, uzayın elle tutulabilir olup olmadığı sorusunun modası geçmişti. Birazdan ele alacağımız gibi, soru Einstein'ın yaklaşımıyla ifade edilecek olursa "uzay-zaman bir şey midir" şeklinde değişmişti. Bu görünüşteki küçük değişiklikle, gerçekliğin alanı konusundaki kavrayışımız tamamen dönüştü.

Boş Uzay Gerçekten Boş mu?

Yirminci yüzyılın başlarında Einstein'ın yazdığı görelilik oyununun başrolündeki oyuncu ışıktı. Einstein'ın görüşleri için sahneyi hazırlayan ise James Clerk Maxwell'in çalışmalarıydı. 1800'lerin ortalarında Maxwell ilk kez elektriği, manyetizmayı ve bunların yakın ilişkilerini kavramamızı sağlayan kuramsal bir çerçeve oluşturan dört denklem keşfetti. Maxwell bu denklemleri, 1800'lerde elektriğin ve manyetizmanın o zamana kadar bilinmeyen özelliklerini ortaya çıkaran on binlerce deney yapan İngiliz fizikçi Michael Faraday'ın çalışmalarını büyük bir dikkatle inceleyerek geliştirdi. Faraday'ın en önemli atılımı alan kavramıydı. Sonraları Maxwell

ve başkaları tarafından genişletilen bu kavram, fiziğin son iki yüzyıldaki gelişiminde çok etkili olmuştur ve günlük hayatta karşılaştığımız pek çok küçük gizemin altında yatan da bu kavramdır. Havalimanında güvenlik kontrolünden geçerken, nasıl oluyor da bir makine size dokunmadan madeni bir eşya taşıyıp taşımadığınızı ortaya çıkarabiliyor? MR çektirirken nasıl oluyor da dışınızdaki bir alet, vücudunuzun içinin fotoğrafını çekebiliyor? Pusulanın ibresi nasıl oluyor da hiçbir şey onu itmediği halde dönüp kuzeye yöneliyor? Bu son soruya verilen yanıt hep bunun nedeninin yerkürenin manyetik alanı olduğudur, işte bu manyetik alan kavramı önceki iki örneğin de açıklanmasına yardımcı olur.

Manyetik alanın ne demek olduğunu, ilkokullarda yapılan, bir kâğıt parçasının üzerine yerleştirilmiş çubuk mıknatısın etrafına serpiştirilmiş demir tozlarının aldığı şekli gösteren deneyden daha iyi anlatan başka bir şey yoktur. Kâğıdı biraz sallarsanız demir tozları Şekil 3.1'deki gibi düzenli bir şekil alarak mıknatısın kuzey kutbundan güney kutbuna uzanan yaylar oluşturur. Demir tozlarının oluşturduğu örüntü, mıknatısın, çevresindeki uzayın her noktasını kaplayan bir şey, örneğin metal tozları üzerine kuvvet uygulayabilen bir şey yarattığının doğrudan kanıtıdır. Bu görünmez şey manyetik alandır, sezgilerimize göre uzayın bir bölgesini dolduran ve mıknatısın fiziksel varlığının ötesinde bir kuvvet uygulayabilen bir sis ya da öz gibi bir şeydir. Manyetik alan mıknatısa, ordunun diktatöre ya da hesap müfettişlerinin vergi dairesine verdiği şeyi verir: Fiziksel sınırlarının ötesinde bir etki. Böylece kuvvet uzaktaki "alanda" da etkir. Manyetik alana aynı zamanda kuvvet alanı denmesinin nedeni de budur.



Şekil 3.1 Bir çubuk mıknatısın etrafına serpiştirilen demir tozları mıknatısın manyetik alanını gösterir.

Manyetik alanları o kadar yararlı kılan uzayı dolduran, nüfuz edici özellikleridir. Havalimanlarında kullanılan metal detektörlerinin manyetik alanları giysilerinizden geçerek, üzerinizdeki metal cisimlerin kendi manyetik alanlarının ortaya çıkmasını sağlar; bu manyetik alanlar da gerisin geriye detektörü etkileyerek alarm düdüğünün çalmasına neden olur. MR cihazının manyetik alanı vücudunuza nüfuz edip belirli atomların belli bir şekilde dönerek kendi manyetik alanlarını üretmesini sağlar; makine de bu alanları algılayarak dokuların fotoğraflarına dönüştürür. Yerkürenin manyetik alanı pusulanın kabından geçerek iğnesini döndürür ve iğnenin, çağlar süren bir jeofiziksel süreç sonunda kuzey-güney doğrultusunda konumlanmış yerküre manyetik alanına paralel durmasına neden olur.

Manyetik alanlar tanıdığımız türden alanlardır, ama Faraday bir başka alanı daha incelemiştir: Elektrik alanı. Yün atkınızın çıtırdamasına, halı kaplı bir odada yürüdükten sonra elinizi metal kapı tokmağına uzattığınızda elinize kıvılcım atlamasına ve gök gürültülü, şimşekli bir fırtına sırasında yüksek bir dağdaysanız eğer cildinizin karıncalanmasına neden olan, işte bu alandır. Eğer böyle bir fırtına sırasında bir pusulanın iğnesine bakacak olsaydınız, şimşek çaktıkça ya da yakınlara bir yerlere yıldırım düştükçe iğnenin bir o yöne bir bu yöne döndüğünü görürdünüz, bu da size elektrik alan ve manyetik alan arasındaki ilişki konusunda ipucu verirdi. Bu ilişkiyi ilk kez Danimarkalı fizikçi Hans Oersted keşfetmiş, Faraday da özenle hazırladığı deneylerle etraflıca araştırmıştır. Nasıl menkul kıymet borsasındaki gelişmeler hisse senetlerini etkiler, bu da tekrar borsayı etkilerse, bu bilim insanları da aynı şekilde bir elektrik alandaki değişikliğin yakındaki manyetik alanda değişikliğe neden olduğunu, bu değişikliğin de elektrik alanda değişiklik yapabileceğini buldular. Maxwell bu karşılıklı ilişkinin matematiksel temellerini buldu. Denklemleri elektrik ve manyetik alanların ayrılmaz biçimde iç içe girdiğini gösterdiği için de sonunda bu alanlara elektromanyetik alanlar, uyguladıkları etkiye de elektromanyetik kuvvet adı verildi.

Bugün sürekli bir elektromanyetik alanlar denizinde yüzüyoruz. Cep telefonunuz ya da otomobilinizin radyosu hemen hemen her yerde çalışır, çünkü telefon şirketlerinin ve radyo istasyonlarının yaydığı elektromanyetik alanlar, uzayda çok çok geniş alanlara ulaşıp bu alanları

doldurur. Aynı şey kablosuz internet bağlantıları için de geçerlidir; bilgisayarlar çevremizde -içimizden de geçerek- titreşip duran elektromanyetik alanlardan Dünyayı Saran Ağ'ı çekip alır. Maxwell'in yaşadığı günlerde elektromanyetik teknoloji daha az gelişmişti tabii, ama bilim insanları Maxwell'in üstün başarısını hemen anladı ve takdir etti: Maxwell alanların dilini kullanarak, daha önceleri birbirlerinden ayrı olarak düşünülen elektrik ve manyetik alanların, aslında aynı fiziksel varlığın değişik yönleri olduğunu göstermişti. İleride başka alanlarla da ilgileneceğiz: Kütleçekimi alanları, çekirdeksel (nükleer) alanlar, Higgs alanları vb. Alan kavramının fizik yasalarının çağdaş formülleştirilmesinde merkezi bir kavram olduğu giderek daha açık hale gelecek. Ama şimdilik, öykümüzün bir sonraki adımı gene Maxwell'e ilişkin. Maxwell denklemlerini daha derinlemesine incelediğinde, elektromanyetik etkilerin dalga benzeri bir biçimde, belirli bir hızla yayıldığını buldu: Saniyede 300.000 kilometre. Bu değer, ışığın başka deneyler sonucunda bulunan hızıyla aynı olduğundan, Maxwell ışığın da bir tür elektromanyetik dalga olması gerektiğini tınladı. Bu dalgalar, gözümüzdeki ağ tabakasında bulunan kimyasal maddelerle etkileşerek görme duyusunu oluşturmak için gereken özelliklere sahipti. Bu başarı, Maxwell'in zaten çok büyük olan keşiflerini daha da önemli hale getirdi: Maxwell, mıknatısın ürettiği kuvveti, elektrik yüklerinin oluşturduğu etkiyi ve evreni görmemizi sağlayan ışığı birbirine bağlamıştı, ama bu durum aynı zamanda önemli bir de soru doğurmuştu.

Deneyimlerimiz ve şimdiye kadar tartıştıklarımız, ışığın hızının saniyede 300.000 kilometre olduğunu söylediğimizde, bu hızın neye göre ölçüldüğünü belirtmezsek bu cümlenin anlamsız olduğunu söylüyor. Tuhaf olan Maxwell'in denklemlerinin bu sayıyı -saniyede 300.000 kilometre- böyle bir referans sistemi belirlemeksizin ve görünüşte böyle bir referans sistemine dayanmaksızın vermesiydi. Bu durum, bir kişi parti vereceği yerin adresini referans noktası belirtmeden, neyin 22 kilometre kuzeyinde olduğunu söylemeden "22 kilometre kuzeyde" diye vermesine benzer. Maxwell'in de aralarında olduğu çoğu fizikçi, denklemlerin verdiği hızı şöyle açıklamaya çalıştı: Bildiğimiz dalgalar, örneğin deniz dalgaları ve ses dalgaları bir madde, bir ortam tarafından taşınır. Deniz dalgalarını taşıyan, sudur. Ses dalgalarını taşıyan, havadır. Bu dalgaların hızları ortamlarına göre belirlenir. Sesin oda sıcaklığındaki hızının saniyede 330 metre (daha önce tanıştığımız Ernst Mach'a atfen 1 Mach olarak bilinir) olduğunu söylüyorsak, ses dalgalarının durağan hava içinde bu hızla ilerlediğini söylemek istiyoruzdur.

O zaman fizikçiler de akla yakın bir tahminde bulundular ve ışık dalgalarının da -elektromanyetik dalgalar- o zamana kadar görülmediği ve varlığı saptanamadığı halde var olması gereken belirli bir ortam içinde hareket ediyor olması gerektiğini düşündüler. Işığı taşıyan bu ortama bir de isim verildi: Esir. Bu isim Aristoteles'in, gökcisimlerini oluşturduğu düşünülen her şeyi kapsayan gizemli maddeyi tanımlamak için kullandığı çok eski bir terimdir. Bu önermeyi sonuçlarla bağdaştırmak için, denklemlerin esire göre durağan durumdaki birinin bakış açısından geçerli olduğu düşünüldü. Demek ki, Maxwell'in denklemlerinden çıkan saniyede 300.000 kilometrelik hız, ışığın durağan haldeki esire göre hızıydı.

Görüldüğü gibi, esir ile Newton'un mutlak uzayı arasında çarpıcı bir benzerlik vardır. Her ikisi de hareketi tanımlamak için bir referans sistemi arayışı sonucunda ortaya çıkmıştır; ivmeli hareket mutlak uzaya, ışığın hareketi de esire yol açmıştır. Aslında pek çok fizikçi esire, Henry More, Newton ve diğerlerinin mutlak uzayı kapladığını düşündüğü tanrısal ruhun yeryüzündeki hali olarak bakmıştır. (Newton ve onun devrinde yaşamış başkaları "esir" terimini mutlak uzay tanımlarında bile kullanmıştır.) Ama esir gerçekte nedir? Neden oluşmuştur? Nereden gelmiştir? Her yerde var mıdır?

Esire ilişkin bu sorular, yüzyıllar boyunca mutlak uzaya ilişkin olarak sorulan sorularla aynıdır. Ama Mach'ın mutlak uzayın olup olmadığını sınaması tamamen boş uzayda dönmeyi kapsamakta iken, fizikçiler esirin gerçekten var olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla "yapılabilir" deneyler önerebiliyordu. Örneğin, suda size doğru gelen bir dalgaya doğru yüzerseniz, dalga size daha çabuk ulaşır; dalgadan uzağa doğru yüzerseniz, size ulaşması daha uzun zaman alır. Benzer biçimde, eğer varsayılan esir içinde size yaklaşmakta olan bir ışık dalgasına doğru veya ondan uzağa doğru hareket ederseniz, aynı mantıkla düşününce, ışık dalgasının yaklaşma hızı saniyede 300.000 kilometreden daha çok veya daha az olacaktır. Ama Albert Michelson ve Edward Morley 1887 yılında tekrar tekrar yaptıkları deneylerde, ışığın hızının kendilerinin ve ışık kaynağının hareketinden bağımsız olarak her seferinde saniyede 300.000 kilometre olduğunu buldu. Bu sonuçlan açıklamak için pek çok zekice sav ileri sürüldü. Bazıları, Michelson ve Morley'in deneyler sırasında fark etmeden esiri de deney düzeneğiyle birlikte sürüklemiş olabileceğini ileri sürdü. Birkaç kişi de, deney düzeneğinin esir içinde hareket ederken yamulduğunu, bunun da ölçümleri bozduğunu söyledi. Bu konunun

açıklanması, Einstein'ın devrim yaratan sezgisinin ortaya çıkışına kadar bekleyecekti.

Göreli Uzay, Göreli Zaman

Haziran 1905'te Einstein kesin olarak esirin sonunu ilan eden, "Hareket Eden Cisimlerin Elektrodinamiği Üzerine" gibi alçakgönüllü bir ismi olan bir makale yazdı. Bu makale, bir hamlede uzay ve zaman kavrayışımızı da sonsuza kadar değiştirdi. Einstein, makaledeki fikirlerini 1905'in Nisan ve Mayıs aylarında, beş haftalık çok yoğun bir çalışma sırasında formülleştirdi, ama bu konular üzerine on yıldan uzun bir süredir kafa yoruyordu. Einstein delikanlılık yıllarından beri eğer bir ışık dalgasını tam olarak ışık hızında izleyebiliyor olsaydık, ışık dalgasının nasıl görüneceği sorusunun yanıtını bulmaya uğraşıyordu. Siz ve ışık dalgası esir içinde aynı hızla hareket ediyor olacağınız için ışığa tam anlamıyla ayak uydurmuş olacaktınız. Dolayısıyla Einstein'a göre, sizin bakış açınızdan ışığın hareket etmiyor gibi görünmesi gerekiyordu. Yeni yağmış kardan uzanıp bir avuç alır gibi, uzanıp bir avuç hareketsiz ışık alabilmeliydiniz.

Ama sorun şu: Maxwell'in denklemleri ışığın durağan -yani yerinde duruyormuş gibi- görünmesine izin vermiyor. Şimdiye kadar kimsenin durağan bir ışık parçası yakaladığı da görülmedi. Dolayısıyla, genç Einstein şunu soruyordu: Görünürdeki bu çelişkiye ne anlam vereceğiz?

On yıl sonra Einstein, dünyaya bu sorunun yanıtını özel görelilik kuramı ile verdi. Einstein'ın keşfinin entelektüel kökenleri çok tartışılmıştır, ama onun basitliğe olan sarsılmaz inancının bu konuda önemli bir rol oynadığına hiç kuşku yok. Einstein, esirin varlığının kanıtlanmaya çalışıldığı en azından bazı deneylerin başarısız olduğundan haberdardı. O zaman deneylerde hata bulmak için uğraşmaya ne gerek vardı? Onun yerine daha basit olan yaklaşım benimsenmeliydi: Deneylerde esir bulunamıyordu, çünkü esir yoktu. Maxwell'in ışığın hareketini -yani elektromanyetik dalgaların hareketini- betimleyen denklemleri böylesi bir ortam gerektirmediği için, hem deney hem de kuram aynı sonuca ulaşıyordu: Bildiğimiz tüm diğer dalgalardan farklı olarak, ışığın onu taşıyacak bir ortama ihtiyacı yoktur. Işık, yalnız bir yolcudur. Işık, boş uzayda yayılabilir.

Ama o zaman, ışığın hızını saniyede 300.000 kilometre olarak veren Maxwell denklemlerini ne yapacağız? Eğer durağan referans sistemi olarak kullanılabilecek esir yoksa ışığın hızının kendisine göre ölçüleceği o şey nedir? Einstein yine genel yaklaşımlara karşı geldi ve en basit yanıtı verdi. Eğer Maxwell denklemleri herhangi bir durağan referans sistemi gerektirmiyorsa, bunun en doğrudan yorumu böyle bir referansa gerek olmadığı idi. O zaman Einstein ışığın hızının hiçbir şeye ve her şeye göre saniyede 300.000 kilometre olduğunu açıkladı.

Bu kesinlikle basit bir ifadedir ve Einstein a atfedilen bir söze de uyar: "Her şeyi mümkün olduğunca basitleştirin, ama fazla da değil." Sorun şu ki, bu da çılgınca görünüyor. Eğer uzaklaşmakta olan bir ışık demetinin arkasından koşarsanız, sağduyu sizin bakış açınızdan ışığın hızının saniyede 300.000 kilometreden daha düşük olması gerektiğini söyler. Eğer yaklaşmakta olan bir ışık demetine doğru koşarsanız, sağduyu sizin bakış açınızdan ışığın hızının saniyede 300.000 kilometreden daha yüksek olması gerektiğini söyler. Yaşamı boyunca sağduyuya meydan okuyan Einstein için bu durum da bir istisna değildi. Einstein, bir ışık demetine ne kadar hızla yaklaşıyor ya da bir ışık demetinden ne kadar hızla uzaklaşıyor olursanız olun, ışığın hızını tam olarak saniyede 300.000 kilometre olarak ölçeceğinizi ileri sürdü; ne daha az, ne daha fazla. Bu Einstein'ın gençlik dönemlerinde çözemediği açmaza bir çözüm getiriyordu: Maxwell'in kuramı durağan ışık kavramına izin vermiyordu, çünkü ışık hiçbir zaman durağan olamaz. İster ışığa doğru koşun, ister ondan kaçın, ister durun, sizin hareket durumunuzdan bağımsız olarak ışık saniyede 300.000 kilometrelik sabit ve hiç değişmeyen hızını hep korur. Ama biz de doğal olarak, ışığın nasıl olup da böyle garip davranabildiğini sorarız.

Bir an durup, hız konusunda düşünün. Hız, bir şeyin kat ettiği mesafenin, bu mesafe kat edilirken geçen zamana bölünmesiyle ölçülür. Bir uzay ölçüsünün (kat edilen mesafe) zaman ölçüsüne (yolculuğun süresi) bölünmesidir. Newton'dan beri uzay mutlak bir şey olarak düşünülmüştür; "herhangi bir dış referans noktası olmaksızın" vardır. Dolayısıyla uzaya ve uzamsal ayrılmalara ilişkin ölçümler de mutlak olmalıdır: Uzaydaki iki şey arasındaki mesafeyi kim ölçüyor olursa olsun, eğer ölçümler yeterince dikkatli yapılmışsa, cevaplar hep aynı olacaktır. Her ne kadar henüz doğrudan tartışmadıysak da, Newton aynı şeyin zaman için de geçerli olduğunu ileri sürdü. Principia'da yaptığı zaman tanımı, uzaydan bahsederken kullandığı dili yansıtır: "Zaman kendiliğinden vardır ve herhangi bir dış referans noktası olmaksızın, değişmeden akar." Bir başka

deyişle, Newton'a göre, her yerde ve her zaman aynı olan mutlak ve evrensel bir zaman kavramı vardır. Newton'a göre, evrende bir şeyin olması için geçen zamanı kim ölçerse ölçsün, eğer ölçümler dikkatle yapılmışsa cevaplar hep aynı olacaktır.

Uzay ve zaman konusundaki bu varsayımlar günlük hayattaki deneyimlerimizle bağdaşır ve bu nedenle de sağduyumuzla vardığımız, eğer ışığın peşinden gidersek hızının azalmış gibi görünmesi gerektiği sonucuna temel oluştururlar. Bunu anlamak için, nükleer güçle çalışan yeni bir kaykay alan Bart Simpson'ın bir ışık demetiyle yarışmaya karar verdiğini düşünelim. Her ne kadar Bart kaykayının en yüksek hızının saniyede 225.000 kilometre olduğunu öğrendiğinde biraz düş kırıklığına uğramışsa da elinden geleni yapmaya kararlıdır. Kız kardeşi Lisa elinde bir lazerle hazır beklemektedir ve 11 den (kahramanı Schopenhauer'in en sevdiği sayı) geriye doğru saymaya başlar. 0'a geldiğinde lazer ışını ve Bart aynı anda fırlar. Lisa ne görür? Geçen her saniyede ışık 300.000 kilometre, Bart ise 225.000 kilometre gittiği için, Lisa haklı olarak ışığın Bart'tan saniyede 75.000 kilometre hızla uzaklaştığı sonucuna varır. Burada öyküye Newton'u katalım. Onun görüşleri, Lisa'nın uzay ve zaman gözlemlerinin -bu ölçümleri yapan herkesin aynı sonuçları bulması gerektiği için- mutlak ve evrensel olduğunu söyler. Newton için uzayda ve zamanda hareketle ilgili bu tip gerçekler, iki kere ikinin dört etmesi kadar nesneldi. O halde, Newton'a göre Bart da Lisa ile aynı fikirde olmalı ve ışığın kendisinden saniyede 75.000 kilometre hızla uzaklaştığını söylemelidir.

Ama Bart geri döndüğünde hiç de aynı fikirde değildir. Üzgün bir biçimde, elinden geleni yaptığını, ama kaykayının hız sınırını ne kadar zorlarsa zorlasın, ışığın kendisinden saniyede 300.000 kilometre hızla uzaklaştığını gördüğünü söyler. Bart'a inanmıyorsanız da, son yüzyılda hareketli ışık kaynakları ve alıcılar kullanılarak büyük bir titizlikle yapılan binlerce deneyin, Bart'ın bulduğu sonuçları büyük bir kesinlikle desteklediğini aklınızdan çıkarmayın.

Bu nasıl olabilir?

Einstein bunun nasıl olabildiğini anlamıştı. Bulduğu cevap, buraya kadar anlattıklarımızın mantıklı ve çok derin bir uzantısıdır. Demek ki Bart'ın mesafe ve süre ölçümleri, yani ışığın kendisinden ne kadar hızla uzaklaştığını ölçmek için kullandığı girdiler, Lisa'nınkilerden farklıdır. Bir düşünün. Hız mesafenin zamana bölünmesi olduğuna göre, ışığın

kendisinden hangi hızda uzaklaştığı konusunda Bart'ın Lisa'dan farklı bir sonuç bulmasının başka bir sebebi olamaz. Buradan Einstein, Newton'un mutlak uzay ve mutlak zaman konusundaki fikirlerinin yanlış olduğu sonucuna vardı. Einstein, Bart ve Lisa gibi birbirlerine göre hareket eden gözlemcilerin, mesafe ve süre ölçümlerinde aynı değerleri bulmayacaklarını anlamıştı. Işığın hızı konusunda kafa karıştıran deney sonuçları, ancak gözlemcilerin uzay ve zaman algılamaları farklı ise açıklanabilir.

Anlaşılması Zor Ama Kötü Niyetli Değil

Uzay ve zamanın göreliliği şaşırtıcı bir sonuçtur. Bunu yirmi beş yıldan daha uzun süredir biliyor olmama karşın, ne zaman oturup düşünsem, hayret verici buluyorum. Işığın hızının sabit olduğunu belirten basmakalıp cümleden yola çıkıp uzay ve zamanın ona bakan gözlemcinin nazarında olduğu sonucuna varıyoruz. Her birimiz kendi saatimizi taşır, zamanın akışını oradan izleriz. Her saat aynı derecede hassas, ama birbirimize göre hareket ettiğimiz zaman aynı zamanı göstermiyorlar. Eşzamanlı olmuyorlar; seçilen iki olay arasında geçen zamanı farklı gösteriyorlar. Aynı şey, mesafe için de geçerli. Her birimiz kendi ölçüm aracımızı yanımızda taşır, uzayda mesafeyi onunla ölçeriz. Her ölçüm aracı aynı derecede hassas, ama birbirimize göre hareket ettiğimiz zaman aynı mesafeyi göstermiyorlar. Seçilen iki olayın konumlan arasındaki mesafeyi farklı ölçüyorlar. Eğer uzay ve zaman böyle davranmasaydı, ışığın hızı sabit olmayacak, gözlemcinin hareket durumuna bağlı olacaktı. Ama ışığın hızı sabit; uzay ve zaman da böyle davranıyor. Uzay ve zaman, kendilerini ışığın hızı -gözlemcinin hızından bağımsız olarak- her zaman, kesinlikle sabit olacak şekilde ayarlıyorlar.

Uzay ve zaman ölçümlerinin tam olarak nasıl farklılaştığının sayısal ayrıntılarının elde edilmesi daha karmaşıktır, ama bunun için lise düzeyinde cebir bilgisi yeterlidir. Einstein'ın özel görelilik kuramını bu kadar anlaşılması güç kılan, matematiğinin derinliği değildir. Öne sürdüğü fikirlerin yabancılığı ve gündelik deneyimlerle görünürde uyumsuz olmasıdır. Ama Einstein ana fikri (yani Newton'un uzay ve zaman konularına iki yüzyıldan daha eski olan bakışından kendisini kurtarması gerektiğini) bir kez kavradıktan sonra, ayrıntıları yerli yerine koymak onun için artık zor değildi. Einstein, iki kişinin uzaklık ve süre ölçümlerinin, her ikisinin de ışığın hızı olarak aynı değeri bulmasını sağlayacak biçimde, nasıl farklı olması gerektiğini kesin olarak gösterebiliyordu.

Einstein'ın buluşunu daha derinden algılayabilmek için şimdi Bart Simpson'un istemeye istemeye kaykayının en yüksek hızını saatte 100 kilometre (yaklaşık saniyede 30 metre) olacak şekilde değiştirdiğini düşleyelim. Bart -okuyarak, ıslık çalarak, esneyerek ve ara sıra da yola göz atarak- en yüksek hızla önce kuzeye gitse, sonra da kuzeydoğuya giden bir otoyola çıksa, kuzey yönündeki hızı saniyede 50 metreden daha az olacaktır. Bunun nedeni açıktır. Başlangıçta hızının tamamı kuzey yönünde iken, yön değiştirdiğinde bu hızın bir bölümü doğuya kaymış, bu nedenle de kuzey yönündeki hızı azalmıştır. Bu son derece basit örnek, genel göreliliğin temel fikrini kavramamıza yardımcı olacaktır. Şöyle:

Cisimlerin uzayda hareket ettiği fikrine alışmışızdır ama aynı derecede önemli bir hareket türü daha vardır: Cisimler zamanda da hareket eder. Şu anda, kolunuzdaki ve duvardaki saatler, sizin ve çevrenizdeki her şeyin, zamanda hiç durmadan bir biçimde hareket ettiğinizi, hiç durmadan bir saniyeden diğerine gittiğinizi gösteriyor. Newton, zamanda hareketin uzayda hareketten tümüyle ayrı olduğum -bu iki tür hareketin birbiri ile hiç ilgisi olmadığını- düşünmüştü. Ama Einstein, bunların birbirleri ile çok yakından ilişkili olduğunu buldu. Aslında özel göreliliğin devrim yaratan keşfi şudur: Size göre sabit olan -yani uzayda hareket etmeyen- bir şeye, örneğin park halinde bir otomobile bakıyorsanız, otomobilin tüm hareketi zamandadır. Otomobil, sürücüsü, cadde, siz, giysileriniz, hep birlikte ve eşzamanlı olarak zamanda hareket ediyorsunuz: Saniyeler saniyeleri düzgünce izliyor. Ama otomobil sizden uzaklaşıyorsa, hareketinin bir bölümü uzaydaki harekete sapmış demektir. Tıpkı kuzeye doğru hızının bir bölümü doğuya sapan Bart Simpson'un kuzey yönündeki hızının azalması gibi, zamandaki hareketinin bir bölümü uzaya sapan otomobilin de zamandaki hızı azalır. Bu da, otomobilin zamandaki hareketinin yavaşladığı ve dolayısıyla hareket halindeki otomobil ve sürücüsü için zamanın siye ve durağan olan her şeye göre daha yavaş geçtiği anlamına gelir.

Özel görelilik kısaca budur. Aslında, biraz daha kesin davranabilir ve bu tanımı bir adım ileri götürebiliriz. Bart Simpson'un hızı saniyede 30 metre ile sınırlıydı. Bu önemli, çünkü eğer Bart kuzeydoğu yönüne saptığında Kızını yeterince artırabilseydi, hızının sapmasını telafi edebilir yani kuzey yönündeki hızının aynı kalmasını sağlayabilirdi. Ama kaykayın motorunu ne kadar zorlarsa zorlasın, toplam hızı -kuzey ve doğu yönlerindeki hızları-

nın bileşkesi- saniyede 30 metre ile sınırlıydı. Bu nedenle yönü biraz doğuya saptığında, kuzey yönündeki hızı azalıyordu.

Özel görelilik, tüm hareketler için benzer bir yasa getirir: Bütün cisimlerin uzaydaki ve zamandaki bileşke hızı, her zaman tam olarak ışık hızına eşittir. Bu cümleyi okuduğunuzda içgüdüsel olarak irkilebilirsiniz, çünkü hepimiz ışıktan başka hiçbir şeyin ışık hızıyla hareket edemeyeceği fikrine alışmışızdır. Ama alıştığımız bu fikir yalnızca uzaydaki hareket için geçerlidir. Şimdi bununla ilişkili ama daha zengin bir şeyden söz ediyoruz: Bir cismin uzay ve zamandaki bileşik hareketi. Einstein'ın keşfettiği temel gerçek, bu iki tür hareketin her zaman birbirini tamamladığıdır. Baktığınız park halindeki otomobil uzaklaşmaya başladığında, gerçekte olan şudur: Otomobilin zamanda yaptığı ışık hızındaki hareketin bir bölümü uzayda harekete aktarılır, böylece bileşke hareket sabit kalır. Böylesi bir aktarım, otomobilin zamandaki hareketinin kaçınılmaz olarak yavaşladığı anlamına gelir.

Örneğin eğer Lisa, saniyede 225.000 kilometre hızla uzaklaşan Bart'ın kolundaki saati görebilseydi, o saatin kendi saatinin yalnızca üçte ikisi hızla ilerlediğini fark edecekti. Kendi kol saatine göre geçen her üç saat için, Bart'ın kol saatinde yalnızca iki saat geçtiğini görecekti. Bart'ın uzaydaki hızlı hareketi, zamandaki hızını önemli miktarda azaltmış olacaktı.

Dahası, zamanda ışık hızıyla yapılan hareketin tamamı uzayda ışık hızıyla yapılan harekete aktarıldığında uzaydaki en yüksek hıza ulaşılır; bu uzayda neden ışıktan daha hızlı gidilemeyeceğini anlamanın bir yoludur. Uzayda her zaman ışık hızıyla yayılan ışık, her zaman bu aktarımın tamamını yapıyor olması anlamında özeldir. Tıpkı doğuya doğru yapılan hareketin kuzey yönündeki hareketi sıfırlaması gibi, uzayda ışık hızıyla hareket etmek de zamandaki hareketi sıfırlar! Uzayda ışık hızıyla hareket etmek zamanı durdurur. Bir ışık parçacığına saat iliştirmek mümkün olsa, o saat hiç ilerlemez. Yani ışık, Ponce de Leon'un ve kozmetik endüstrisinin rüyalarını gerçekleştirir: Hiç yaşlanmaz.

Bu tanımlamadan da açıkça anlaşılacağı gibi özel göreliliğin etkileri, hız (uzaydaki hız) ışık hızına yaklaştığında belirgin hale gelir. Ama bizim alışık olmadığımız uzay ve zamandaki hızın birbirlerini tamamlayıcı doğası her zaman geçerlidir. Hız ne kadar azalırsa, görelilik öncesi fizikten -yani sağduyudan- sapma da o kadar azalır, ama ne kadar azalsa da sapma her zaman, kesinlikle vardır.

Gerçekten. Bu, ne bir kelime oyunudur, ne el sürçmesi, ne de psikolojik bir yanılsama. Evrenin işleme şekli budur.

1971 yılında Joseph Halele ve Richard Keating, en son teknolojiyle üretilmiş, sezyum ışınlı birkaç atom saatini PanAm Havayolları'nın bir jetiyle dünya çevresinde uçurdular. Uçaktaki saatlerle yerdekileri karşılaştırdıklarında, hareket halindeki saatlerde daha az zaman geçtiğini gördüler. Fark çok çok azdı -saniyenin birkaç yüz milyarda biri- ama Einstein'ın keşifleriyle kesin bir biçimde uyuşuyordu. Artık bundan daha fazla emin olamazdık.

1908'de daha yeni ve hassas deneylerde esirin varlığına dair kanıtlar bulunduğu yolunda söylentiler yayılmaya başlamıştı. Eğer bu söylentiler doğru olsaydı, bu mutlak bir durağanlık standardı bulunduğu ve Einstein'ın özel görelilik kuramının hatalı olduğu anlamına gelirdi. Einstein bu söylentileri duyduğunda şöyle dedi: "Tanrı zor anlaşılır, ama kötü niyetli değildir." Doğanın işleyişini dikkatlice gözlemleyerek uzaya ve zamana dair bazı kavrayışlar kazanmaya çalışmak Einstein a kadar hiç kimsenin altından kalkamadığı zor bir işti. Ama hem böylesine şaşırtıcı ve güzel bir kuramın var olmasına izin vermek, hem de bunun doğanın işleyişiyle ilgisiz olması kötü niyetlilik olurdu. Einstein bunu kabul etmedi, yeni deneyleri hiç dikkate almadı. Kendine güveni yersiz değildi. Sonuçta, bu deneylerin hatalı oldukları kanıtlandı ve esir kavramı bilimsel söylemden uçup gitti.

Peki ya Kova ?

Bu, ışık için derleyip toparlayıcı bir öyküdür elbette. Kuram ve deney, ışığın ışık dalgalarını taşımak için bir ortama gereksinimi olmadığı, ışık hızının -ışık kaynağının ve gözlemcinin hareketinden bağımsız olarak- sabit ve değişmez olduğu konularında uyuşuyordu. Her gözlem noktası diğeriyle aynıydı. Mutlak veya ayrıcalıklı bir durağanlık standardı yoktu. Güzel. Peki ya kova?

Anımsayalım, pek çok kimse esire Newton'un mutlak uzayını destekleyen fiziksel bir madde gözüyle baktıysa da bunun Newton'un mutlak uzayı neden ortaya attığı sorusuyla bir ilgisi yoktu. Newton ivmeli hareketle, yani dönen kovanın hareketiyle boğuştuktan sonra, hareketi kesin bir biçimde ona göre tanımlayacağı, görülmez bir fon maddesi ortaya atmaktan başka bir çare bulamamıştır. Esiri ortadan kaldırmak kovayı da ortadan kal-

dırmadığına göre, acaba Einstein ve özel görelilik kuramı bu konuyla nasıl başa çıkmıştı?

Gerçeği söylemek gerekirse, Einstein özel görelilik kuramında özel bir hareket türüne odaklanmıştı: Sabit hızlı harekete. Daha genel ivmeli hareketi ancak on yıl kadar sonra, 1915'te genel görelilik kuramında tam olarak ele almış ve çözümlemiştir. Buna rağmen Einstein ve diğerleri, dönme hareketini tekrar tekrar özel görelilik kavrayışıyla ele almış ve Newton gibi (Mach'ın aksine) tamamen boş uzayda bile dönme hareketinden kaynaklanan savrulmanın hissedilebileceği sonucuna varmışlardır. Homer dönmekte olan kovanın iç duvarına bastırıldığını hissedecektir, dönmekte olan iki taşı birbirine bağlayan ip gerilecektir. Newton'un mutlak uzay ve mutlak zaman kavramlarını ortadan kaldıran Einstein, bunu nasıl açıklamıştı?

Cevap şaşırtıcıdır. Adına rağmen Einstein 'in kuramı her şeyin göreli olduğunu ileri sürmez. Özel görelilik bazı şeylerin göreli olduğunu ileri sürer: Hız görelidir, uzaydaki mesafeler görelidir, geçen zaman süreleri görelidir. Ama kuram aslında büyük, yeni ve tamamen mutlak bir kavram ortaya atar: Mutlak uzay-zaman. Mutlak uzay ve mutlak zaman Newton için ne kadar mutlaksa, mutlak uzay-zaman da özel görelilik için o kadar mutlaktır. Kısmen bu nedenle Einstein "görelilik kuramı" adını önermemiş ve bu addan hiç hoşlanmamıştır. O ve başka fizikçiler, kuramın temelinde herkesin üzerinde anlaştığı, göreli olmayan bir şey olduğunu vurgulaması bakımından değişmezlik kuramı adını önermişlerdi.

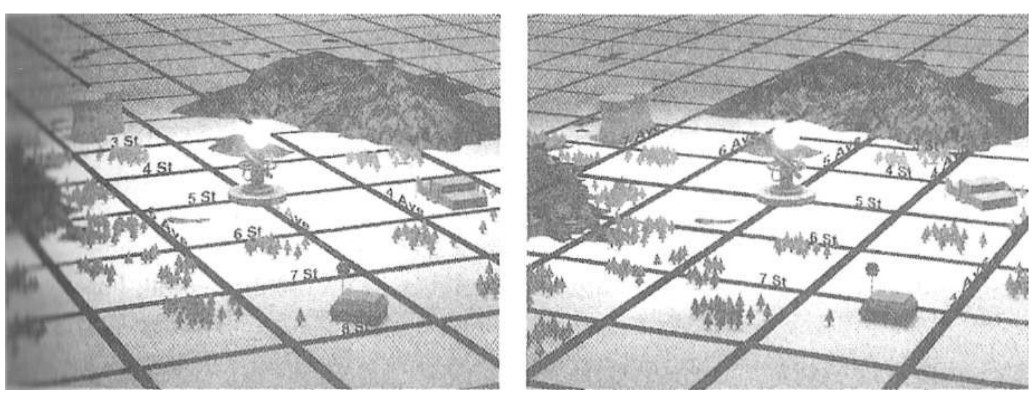
Mutlak uzay-zaman kovanın öyküsünde bir sonraki önemli bölümü oluşturuyor, çünkü her ne kadar mutlak uzay-zaman, hareketi tanımlamak için herhangi bir maddesel ölçüm referansı noktasına sahip olmasa da, özel göreliliğin mutlak uzay-zamanı, cisimlerin ona göre ivmelendiğini söyleyebileceğimiz bir şey sağlar.

Uzayı ve Zamanı Yontmak

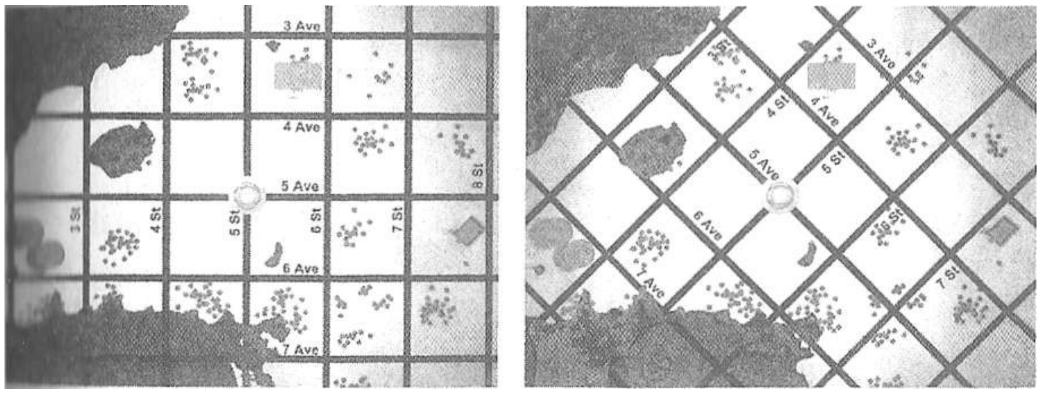
Bunu anlayabilmek için, birlikte kaliteli zaman geçirme arayışındaki Marge ve Lisa'nın Burns Enstitüsü'nde verilen kentsel yenileme kursuna kayıt yaptırdığını düşünelim, ilk ödevleri de Springfield'deki cadde ve bulvarları yeniden tasarlamak olsun, ama iki koşul var. İlki şu: Soaring Nükleer Anıtı caddelerin ve bulvarların oluşturduğu ızgaranın merkezinde,

5. caddeyle 5. bulvarın kesiştiği yerde olacak, ikinci koşul da şu: Tasarımda 100 metre uzunluğunda caddeler ve bu caddelere dik olan 100 metre uzunluğunda bulvarlar kullanılacak. Marge ve Lisa sınıfa girmeden önce yaptıkları tasarımları karşılaştırırken bir şeyin fena halde ters olduğunu anlıyorlar. Marge anıt merkezde olacak şekilde bir tasarım yapmış, ama Kwik-E-Mart 8. caddeyle 5. bulvarın, nükleer santral ise 3. caddeyle 5. bulvarın köşesinde (Şekil 3.2 (a)'da görüldüğü gibi). Lisa'nın tasarımında ise adresler tamamen farklı: Kwik~E-Mart 7. caddeyle 3. bulvarın köşesine yakın, nükleer santral ise 4. caddeyle 7. bulvarın köşesinde (Şekil 3.2 (b) 'de görüldüğü gibi), ikisinden birinin hata yaptığı kesin.

Ama Lisa biraz düşününce ne olup bittiğini anlar. Ortada hata yoktur. Hem kendisi, hem Marge haklıdır. Yalnızca cadde ve bulvar ızgaralarını tasarlarken farklı yönelişler kullanmışlardır. Marge'ın caddeleri ve bulvarları, Lisa'nınkilere göre bir açı yapmaktadır; yani ızgaraları birbirlerine göre dönüktür, Springfield'i caddeler ve bulvarlarla iki farklı yönde dilimlere bölmüşlerdir (Şekil 3.2 (c) ye bakın). Buradan çıkan ders basit ama önemlidir. Springfield'i -ya da uzayın herhangi bir bölgesini- caddeler ve bulvarlarla istediğiniz gibi bölebilirsiniz. "Mutlak" caddeler veya "mutlak" bulvarlar yoktur. Marge'ın seçimi Lisa'nınki kadar, hatta olası tüm diğer yönelişler kadar geçerlidir. İşin içine zamanı katarken bu fikri aklınızdan çıkarmayın. Uzayı evrenin alanı olarak düşünmeye alışmışızdır, ama fiziksel süreçler bu uzayın bir bölgesindebir zaman aralığı süresinde gerçekleşir. Örnek olarak, Şekil 3.3'teki gibi Itchy ve Scratchy'nin düelloya tutuştuğunu ve olan biten her şeyin, eskiden sayfaları çevrildikçe hareketli görüntüler oynatır gibi görünen defterlerdeki gibi (film defteri diyelim) an be an kaydedildiğini düşünün.



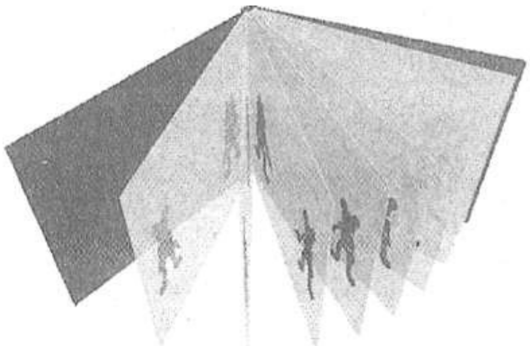
Şekil 3.2 (a) Marge'ın tasarımı (b) Lisa'nın tasarımı

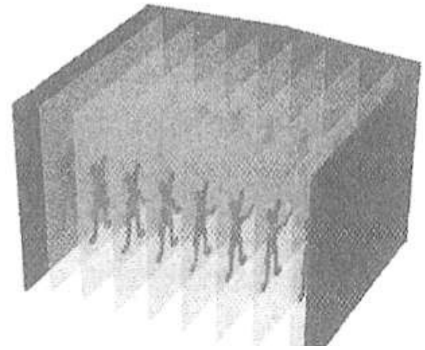


Şekil 3.2 (c) Marge ve Lisa'nın cadde ve bulvar tasarımlarının genel görünüşü. Izgaralar birbirlerine göre dönük.

Her sayfa -bir film şeridindeki bir kare gibi- zamanda bir anda, uzayın bir bölgesinde ne olduğunu gösteren bir "zaman dilimidir". Başka bir anda ne olduğunu görmek için başka bir sayfayı çevirirsiniz. (Elbette uzay üç boyutlu, sayfalarsa iki boyutludur, ama düşünme ve şekil çizme kolaylığı açısından bu basitleştirmeyi yapıyoruz. Elde edeceğimiz sonuçlar bundan etkilenmeyecektir.) Terimlerle ifade edecek olursak, uzayın belli bir zaman aralığında göz önüne alınan bir bölgesine bir uzay- zaman bölgesi denir. Bir uzay-zaman bölgesini, uzayın bir bölgesinde belirli bir zaman aralığında gerçekleşen bütün olayların bir kaydı gibi düşünebilirsiniz.

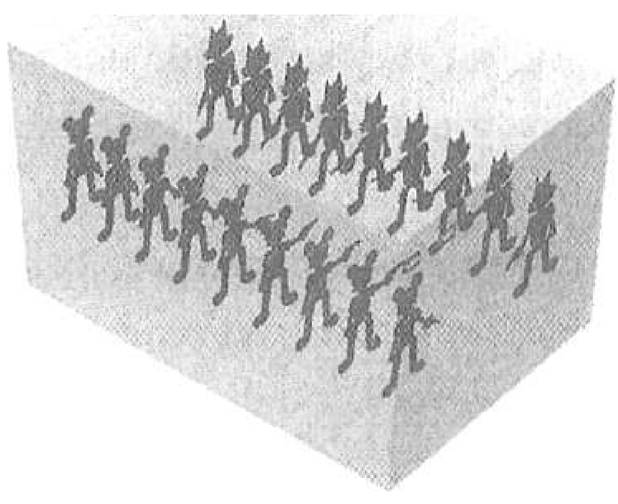
Şimdi, Einstein'ın matematik hocası Hermann Minkowski'nin (ki bir zamanlar genç öğrencisini "tembel köpek" diye nitelemişti) görüşünü izleyerek bir uzay-zaman bölgesinin kendi başına bir varlık olduğunu düşünün: Defterin tamamını kendi başına bir cisim olarak ele alın. Bunu yapmak için, Şekil 3.3b'de olduğu gibi defterin sırtını kalınlaştırdığımızı, sonra da Şekil 3.3c'deki gibi bütün sayfaların saydam olduğunu düşünün.





Şekil 3.3 (a) Düellonun film defteri (b) Sırtı genişletilmiş film defteri

Yani deftere baktığınızda, verilen bir zaman aralığında olan tüm olayları kapsayan sürekli bir blok göreceksiniz. Bu bakış açısından, sayfaların bloğun içeriğini -yani uzay-zamanda gerçekleşen olayları- düzenlemek için uygun bir yol sağladığı düşünülmelidir. Nasıl caddelerin ve bulvarların oluşturduğu ızgaralar bir şehirdeki yerleri kolayca bulmamızı sağlıyorsa, uzay-zaman bloğunu sayfalara bölmek de bir olayın (örneğin Itchy'nin silahını ateşlemesi, Scratchy'nin vurulması) oluş zamanını -olayın görüntülendiği sayfa- ve sayfalarda gösterilen uzay bölgesinin içindeki yerini vererek, o olayı kolayca belirlememize yardımcı olur.



Şekil 3.3 (c) Uzay-zamanın düelloyu içeren bloğu. Sayfalar yani "zaman dilimleri” bloktaki olayları düzenler. Dilimler arasındaki boşluklar sadece şeklin daha kolay anlaşılması içindir; burada zamanın kesikli olduğu (daha ileride ele alacağımız bir konu) söylenmemektedir.

Önemli nokta şudur: Lisa'nın uzayın bir bölgesini cadde ve bulvarlarla dilimlere bölmenin birbirinden farklı ama aynı derecede geçerli yolları olduğunu anlaması gibi, Einstein da bir uzay-zaman bölgesini -yani Şekil 3.3c'deki gibi bir bloğu- belirli anlarda uzay bölgelerine bölmenin birbirinden farklı ama aynı derecede geçerli yolları olduğunu anlamıştı. Şekil 3.3a, 3.3b ve 3.3c'deki sayfalar- her sayfa yine tek bir anı temsil ediyor- pek çok olası dilimleme biçiminden yalnız birini gösteriyor. Bu, uzay konusunda sezgisel olarak bildiğimiz şeylerin sadece önemsiz bir uzantısı gibi görünebilir, ama binlerce yıl koruduğumuz en temel sezgilerden bazılarının altüst olmasının temelinde yatan budur. 1905'e kadar herkesin zamanın geçişini aynı şekilde algıladığı, yani herkesin verili bir anda hangi olayların olduğu ve dolayısıyla da uzay-zaman defterindeki verili bir sayfanın içeriğinin ne olacağı konusunda hemfikir olduğu düşünülüyordu. Ama Einstein'ın birbirlerine göre hareket halinde olan iki gözlemcinin saatlerinin zamanı farklı gösterdiğini anlamasıyla her şey değişti. Birbirlerine göre hareket halinde olan saatler eşzamanlı olmaktan çıkar ve eşanlılığın farklı bir yorumunu verirler. Şekil 3.3b deki her sayfa, verili bir anda uzayda gerçekleşen olayların yalnızca belli bir gözlemci tarafından görülen görüntüsüdür. İlk gözlemciye göre hareket halinde olan bir başka gözlemci, bu sayfalardan herhangi birindeki olayların tümünün aynı zamanda gerçekleşmediğini söyleyecektir.

Bu, eşanlılığın göreliliği olarak bilinir ve doğrudan görülebilir. Şimdi Itchy ve Scratchy'nin ellerinde silahlan, hareket halindeki uzun bir tren vagonunun iki ucunda, yüzleri birbirlerine dönük olarak durduğunu düşünün. Düello hakemlerinden biri vagonda, diğeri peronda olsun. Düellonun olabildiğince adil olmasını sağlamak için taraflar üç adım kuralından vazgeçiyorlar ve düellocuların ikisine de eşit uzaklıkta, yerde duran bir avuç barutun patlamasıyla silahların çekilmesine karar veriliyor. İlk hakem Apu fitili ateşler, içkisinden bir yudum alır ve geri çekilir. Barut patlar, hem Itchy hem de Scratchy silahlarını çeker ve ateşler. Itchy ve Scratchy barut yığınından eşit uzaklıkta oldukları için Apu, patlamanın ışığının her ikisine de eşanlı olarak ulaştığından emin olduğundan, düellonun adil olduğunu göstermek üzere yeşil bayrağını kaldırır. Ama düelloyu perondan izleyen ikinci hakem Martin bağırarak faul yapıldığını, patlamanın ışığının Itch'ye Scratchy'den daha önce ulaştığını iddia eder.

Vagon ileriye doğru hareket ettiği için Itchy'nin ışığa doğru, Scratchy'ninse ışıktan uzağa doğru hareket ettiğini söyler. Bunun anlamı şudur: Işığın Itchy ye ulaşmak için o kadar yol kat etmesine gerek yoktu, çünkü Itchy zaten ışığa doğru hareket ediyordu; oysa Scratchy ışıktan uzağa doğru hareket ettiğinden ışığın Scratchy'ye ulaşmak için daha uzun bir yol kat etmesi gerekiyordu. Işığın hızı -kimin bakış açısından olursa olsun, ister sağa ister sola gitsin- sabit olduğundan, Martin ışığın Scratchy ye ulaşmak için daha uzağa gitmesi gerektiğini, bunun da daha uzun zaman alacağını, bu sebeple düellonun adil olmadığını iddia etmektedir.

Kim haklı, Apu mu yoksa Martin mi? Einstein'ın beklenmedik yanıtı ikisinin de haklı olduğu. İki hakemin vardığı sonuçlar farklı da olsa, her ikisinin de gözlemi ve akıl yürütmesi hatasız. Tıpkı beysbol sopası ve topu gibi, aynı olaylar dizisine farklı bakış açılarından yani perspektiflerden bakıyorlar. Einstein'ın ortaya çıkardığı şaşırtıcı şey, iki hakemin farklı bakış açılarının, hangi olayların aynı anda olduğu konusunda farklı ama eşit derecede geçerli sonuçlara yol açmasıdır. Elbette gündelik hayatta karşılaştığımız hızlar, örneğin bir trenin hızı söz konusu olduğunda bu fark çok küçüktür -Martin, Scratchy'nin ışığı Itchy'den saniyenin trilyonda birinden daha kısa bir süre sonra gördüğünü iddia, eder- ama tren ışık hızına yakın bir hızla hareket ediyor olsaydı, bu fark çok büyük olurdu.

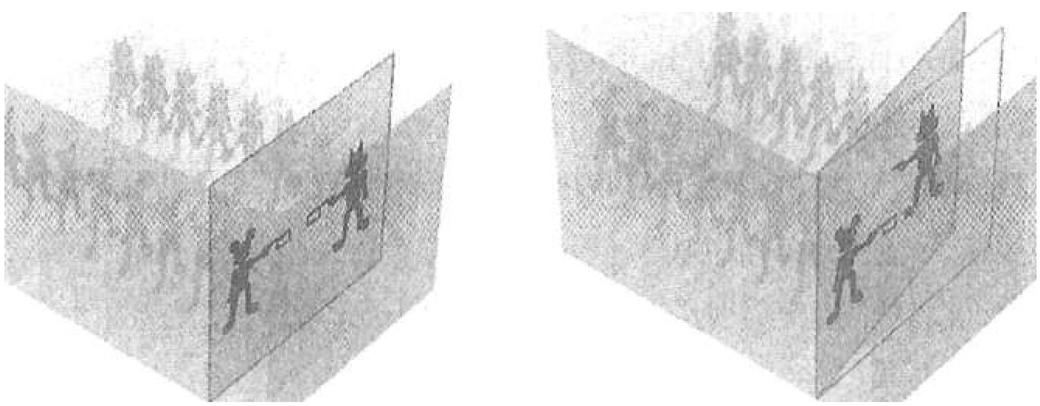
Bunun uzay-zamanın bir bölgesini dilimleyen film defleri için ne anlama geldiğini bir düşünün. Birbirine göre hareket halinde olan gözlemciler nelerin eşanlı olduğu konusunda anlaşamadığı için, her bir gözlemcinin uzay-zaman bloğunu sayfalar halinde -her sayfa, gözlemcinin bakış açısından belirli bir anda olan bütün olayları kapsayacak şekilde- dilimleme şekli de uyuşmayacaktır. Birbirlerine göre hareket halinde olan gözlemcilerin uzay-zaman bloğunu sayfalara (yani zaman dilimlerine) ayırışı farklı ama eşit derecede geçerli olacaktır. Lisa ve Marge'ın uzay için bulduğunu Einstein uzay-zaman için bulmuştur.

Açılı Dilimler

Caddelerin ve bulvarların oluşturduğu ızgarayla zaman dilimleri arasındaki benzerlik daha da ileri götürülebilir. Tıpkı Marge'ın ve Lisa'nın tasarımlarının yönelişlerinin farklı olması gibi, Apu'nun ve Martin'in zaman dilimlerinin de (yani film defteri sayfalarının) yönelişleri farklı olacaktır,

ama bu kez işin içinde hem uzay hem de zaman vardır. Bu durum Şekil 3.4a ve 3.4b'de gösterilmiştir. Şekillerde, Martin'in dilimlerinin Apu'nunkilere göre dönük olduğunu, bunun da Martin'in düellonun adil olmadığı sonucuna varmasına yol açtığını görüyoruz. Ama bir ayrıntıda önemli bir fark var; Marge'ın ve Lisa'nın projeleri arasındaki dönme açısı bir tasarım seçimi iken, Apu'nun ve Martin'in dilimleri arasındaki dönme açısı, ikisinin göreli hızları tarafından belirleniyor. Çok az bir çaba ile bunun nedenini anlayabiliriz.

Itchy ile Scratchy'nin barıştığını düşünün. Artık birbirlerini vurmaya çalışmak yerine, sadece trenin önündeki ve arkasındaki saatlerin tam olarak eşzamanlı çalışıp çalışmadığından emin olmaya çalışıyorlar. Hâlâ baruttan eşit uzaklıkta oldukları için, şöyle bir plan yapıyorlar: Barut patlayınca çıkan ışığı görür görmez ikisi de saatlerini öğlen 12'ye ayarlamayı kararlaştırıyor.



Şekil 3.4 Birbirlerine göre hareket halinde olan Apu'nun (a) ve Martin'in (b) zaman dilimlemeleri. Dilimler uzay ve zamanda birbirlerine göre dönük. Trende olan Apu'ya göre, düello adildir; peronda olan Martine göreyse adil değildir. Her iki bakış açısı da eşit derecede geçerlidir, (b)'de hakemlerin uzay-zamandaki dilimlemelerinin arasındaki açı farkı vurgulanmıştır.

Onların bakış açılarından, ışık her birine ulaşmak için eşit mesafe kat edecek, ışığın hızı da sabit olduğu için her ikisine eşanlı ulaşacak. Ama önceki mantığa göre, Martin ya da perondaki herhangi biri Itchy'nin ışığa doğru, Scratchy'ninse ışıktan uzağa doğru hareket ettiğini görecek, bu nedenle de Itchy'nin işareti Scratchy'den biraz önce alacağını söyleyecektir. Yani perondaki gözlemciler Itchy'nin saatini 12:00'ye Scratchy'den önce ayarladığı, dolayısıyla da Itchy'nin saatinin Scratchy'ninkinden biraz ileride

olduğu sonucuna varacaktır. Örneğin, Martin'le beraber peronda duran bir gözlemci için Itchy'nin saati 12:06 iken Scratchy'nin saati 12:04 olabilir (kesin değerler trenin uzunluğuna ve hızına bağlıdır; tren ne kadar uzun ve ne kadar hızlıysa aradaki fark da o kadar artar). Ama Apu'ya ve trendeki herkese göre Itchy ve Scratchy eşanlılığı mükemmel bir biçimde başarmıştır. Her ne kadar insanın bunu kabul etmesi zor olsa da, burada bir açmaz yoktur: Birbirlerine göre hareketli olan gözlemciler eşanlılık konusunda -hangi olayların aynı anda olduğu konusunda- anlaşamaz.

Bunun anlamı şudur: Trendeki gözlemcilerin gördüğü haliyle film defterinin bir sayfası (bu gözlemcilerin eşanlı olduğunu düşündükleri olayların, örneğin Itchy ve Scratchy'nin saatlerini ayarlamasının olduğu sayfa) perondaki gözlemcilerin bakış açısından farklı sayfalarda yer alan olayları da kapsar. (Perondaki gözlemcilere göre Itchy saatini Scratchy'den önce ayarlamıştır, bu nedenle bu iki olay perondaki gözlemcilerin bakış açısından farklı sayfalarda yer almaktadır). İşte bu kadar. Trendekilerin bakış açısından tek bir sayfa, perondakilerin bakış açısına göre daha önceki ve daha sonraki sayfalarda yer alan olayları da içerir. Martin ve Apu'nun dilimlemelerinin (Şekil 3.4) birbirlerine göre dönük olmasının nedeni budur: Bir bakış açısına göre tek bir zaman dilimi, diğer bakış açısına göre birçok zaman dilimini kesebilir.

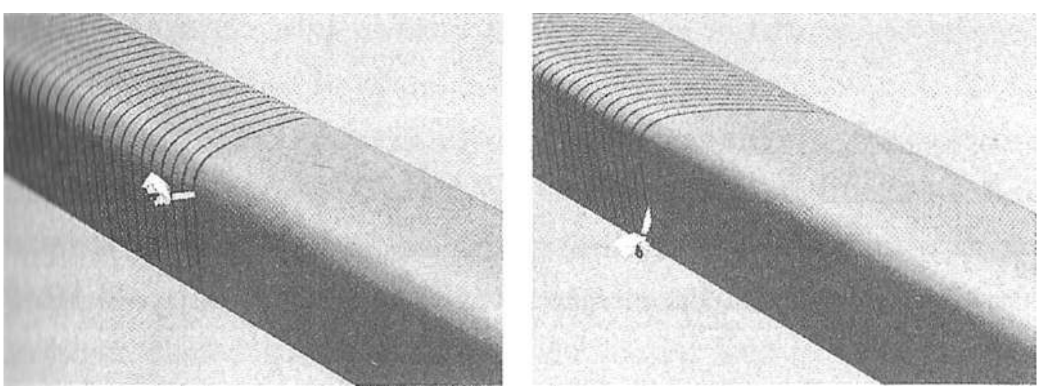
Eğer Newton'un ortaya attığı mutlak uzay ve mut lak zaman kavramları doğru olsaydı, herkes uzay-zamanın tek bir şekilde dilimlendiğini konusunda fikir birliğinde olurdu. Her dilim, mutlak zamanın belirli bir anında görüldüğü biçimiyle mutlak uzayı temsil ederdi. Ama dünya böyle değil. Newton'un katı zaman kavramından Einstein'ın bulduğu esnek zaman kavramına geçince, kullandığımız benzetmeyi de değiştirebiliriz. Uzay-zamanı katı bir film defteri olarak düşünmek yerine, büyük bir ekmek somunu olarak düşünmek bazen daha yararlı olacaktır. Defteri oluşturan sabit sayfaların -Newton un sabit zaman dilimleri yerine, Şekil 3.5a da olduğu gibi bir somun ekmeği nasıl farklı açılarda, birbirlerine paralel dilimlere bölebileceğinizi düşünün. Her ekmek dilimi bir gözlemcinin bakış açısına göre belirli bir andaki uzayı temsil eder. Ama Şekil 3.5b'de gösterildiği gibi, ilk gözlemciye göre hareket halinde olan bir başka gözlemci uzay-zaman somununu başka bir açıyla dilimleyecektir. Gözlemcilerin göreli hızları ne kadar büyükse, kestikleri paralel dilimler arasındaki açı da (kitabın sonundaki notlarda belirtildiği gibi, ışığın koyduğu hız sınırı nedeniyle bu dilimler arasında en fazla 45°lik bir dönme

açısı olabilir), aynı anda olduğunu söyledikleri olaylar arasındaki uyuşmazlık da o kadar büyük olacaktır.

Özel Göreliliğe Göre Kova

Zamanın ve uzayın göreliliği düşünüşümüzde kökten bir değişiklik yapmamızı gerektirir. Ama burada, daha önce sözü edilen, şimdi de ekmek somunu örneğiyle gösterilen ve sık sık gözden kaçan önemli bir nokta var: Görelilikteki her şey göreli değildir. Eğer siz ve ben, bir ekmek somununu iki faklı şekilde dilimlemeyi düşünsek bile, üzerinde kesin olarak anlaştığımız bir şey var: Somunun kendisinin bütünlüğü. Her ne kadar dilimlerimiz farklı olsa da, ben kendi dilimlerimi bir araya getirirsem, siz de kendi dilimlerinizi bir araya getirirseniz aynı ekmek somununu yeniden oluştururuz. Başka ne olabilirdi ki? Aynı somunu dilimlediğimizi düşündük.

Benzer biçimde, herhangi bir gözlemcinin bakış açısına göre, uzayın ardışık anlardaki dilimleri bir araya gelince (Şekil 3.4'e bakınız) aynı uzay-zaman bölgesi oluşur. Farklı gözlemciler bir uzay-zaman bölgesini farklı şekillerde dilimleyebilir, ama bölgenin kendisinin varlığı -tıpkı ekmek somunu gibi- bağımsızdır. Yani her ne kadar Newton kesinlikle hatalıysa da, mutlak bir şeyin, herkesin üzerinde fikir birliğine varacağı bir şeyin var olduğu yolundaki sezgisi özel görelilik tarafından tümüyle yıkılmamıştır. Mutlak uzay yoktur. Mutlak zaman yoktur. Ama özel göreliliğe göre mutlak uzay-zaman vardır. Bu gözlemi yaptıktan sonra şimdi kova problemine yeniden dönelim.



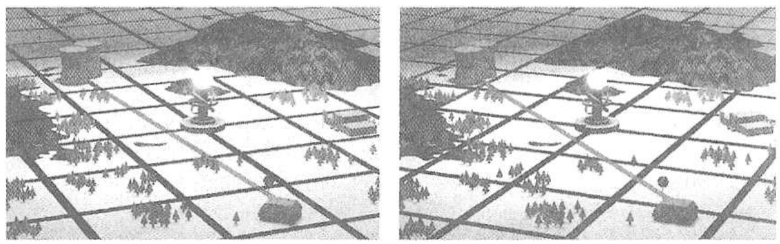
Şekil 3.5 Bir ekmek somunu nasıl farklı açılarda dilimlenebilirse, bir uzay-zaman bloğu da, birbirlerine göre hareket halinde olan gözlemciler tarafından farklı açılarda "zaman dilimlerine” bölünür. Göreli hız arttıkça, açı da artar (ışık hızının sınırladığı en yüksek hız, bu açının en fazla 45° olmasına olanak verir).

Bomboş bir evrende kova neye göre döner? Newton a göre cevap mutlak uzaydır. Mach'a göre, kovanın dönmekte olduğunu söylemenin bile bir anlamı yoktur. Einstein'ın özel göreliliğine göre ise, cevap mutlak uzay-zamandır.

Bunu anlamak için yeniden Springfield için önerilen cadde ve bulvar projelerine dönelim. Marge'ın ve Lisa'nın, projelerindeki ızgaralar birbirlerine göre dönük olduğu için Kwik-E-Mart'ın ve nükleer santralin adresleri konusunda anlaşamadıklarını hatırlayalım. O durumda bile, projelerdeki ızgaralar nasıl yerleştirilmiş olursa olsun, hâlâ üzerinde kesinlikle fikir birliğine vardıkları bazı şeyler vardır. Örneğin, çalışanların öğle tatilindeki verimliliklerini artırmak için nükleer santralden Kwik-E-Mart'a bir yol çizilirse, Marge ile Lisa bu yolun hangi cadde ve bulvarları keseceği konusunda, Şekil 3.6'da göreceğiniz gibi, yine anlaşamayacaktır. Ama bu yolun şekli konusunda kesinlikle anlatacaklardır: Yol düz bir çizgidir. Çizilen yolun geometrik şekli, o sırada kullanılan cadde-bulvar ızgarasından tamamen bakımsızdır.

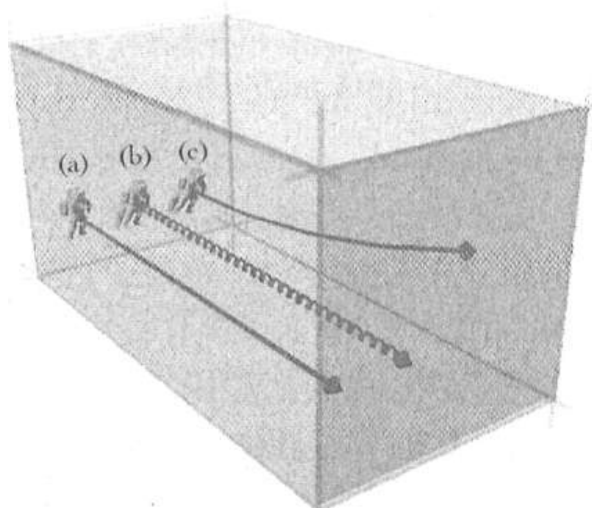
Einstein, buna benzer bir şeyin uzay-zaman için de geçerli olduğunu anlamıştı. Her ne kadar birbirlerine göre hareket halinde olan iki gözlemci uzay-zamanı farklı şekillerde dilimliyorsa da, hâlâ üzerinde anlaştıkları şeyler vardır. Örnek olarak sadece uzayda değil de uzay-zamanda düz bir çizgi düşünün. Her ne kadar zamanı da işin içine katmak bu yolu bizim için biraz daha az bilindik hale getiriyorsa da, bir an düşününce bunun anlamını kavrayabiliriz. Bir cismin uzay-zamanda izlediği yolun düz bir çizgi olması için cismin uzayda bir doğru üzerinde hareket etmesi yetmez, zamandaki hareketinin de tekbiçimli olması gerekir; yani hem hızı hem de yönü değişmemeli, doğrusal hızı sabit olmalıdır. Şimdi, farklı gözlemciler uzay-zaman somununu farklı açılarda dilimliyor olsalar ve bu nedenle bir yörünge üzerindeki farklı noktalar arasında ne kadar yol alındığı ve ne kadar zaman geçtiği konularında anlaşamıyor olsalar bile, Marge ve Lisa gibi gözlemciler uzay-zamanda izlenen yolun bir doğru olup olmadığı konusunda fikir birliğinde olacaktır. Kwik-E-Mart'a çizilen yolun geometrik biçiminin, kullanılan cadde/bulvar dilimlemesinden bağımsız olması gibi, uzay-zamanda izlenen yolların geometrik biçimleri de kullanılan zaman dilimlemesinden bağımsızdır.

Bu, basit ama önemli bir kavrayıştır, çünkü özel görelilik bu kavrayışla, bir şeyin ivmelenip ivmelenmediği konusunda mutlak bir ölçüt -sabit ve göreli hızlarından bağımsız olarak tüm gözlemcilerin üzerinde fikir birliğine varacağı bir ölçüt- sağlamıştır. Bir cismin, örneğin Şekil 3.7'deki astronotun (a) uzay- zamanda izlediği yol doğru bir çizgi ise, o cisim ivmelenmiyordur.



Şekil 3.6 Hangi cadde/bulvar ızgarasının kullanıldığından bağımsız olarak, herkes yolun bu örnekte bir doğru olduğu konusunda aynı fikirdedir.

Bir cismin uzay-zamanda izlediği yol doğru bir çizgi değil de başka herhangi bir tür yol ise, o cisim ivmeleniyordur. Örneğin Şekil 3.7'deki astronot sırtındaki roketi ateşleyip sürekli bir çember çizerek dönse (b) veya giderek artan bir hızla fırlasa (c) uzay-zamanda izlediği yol eğri olacaktır; bu da ivmelenmenin kesin bir göstergesidir. Böylece uzay-zamanda izlenen yolların geometrik şekillerinin, bir cismin ivmelenip ivmelenmediğini belirlemek için mutlak bir standart sağladığını görüyoruz. Bu standardı tek başına uzay değil, uzay-zaman sağlıyor.



Şekil 3.7 Üç astronotun uzay-zamanda izlediği yollar: (a) astronotu ivmelenmediği için uzay-zamanda izlediği yol bir doğru, (b) astronotu sürekli çember çizdiği için uzay-zamanda izlediği yol bir sarmal, (c) astronotu uzaya doğru ivmelendiği için uzay-zamanda eğri bir yol izliyor.

Demek ki bu anlamda özel görelilik bize, ivmeli hareket konusunda uzay-zamanın kendisinin hakem olduğunu söylüyor. Uzay-zaman bize bir şeyin -örneğin dönen bir kovanın- uzay bomboş bile olsa, kendisine göre ivmelendiğini söyleyebileceğimiz bir referans sistemi sağlıyor. Bu kavrayışın edinilmesiyle birlikte bilimin sarkacı yeniden sallanıyor: Görelilikçi Leibniz'den mutlakçı Newton'a, oradan görelilikçi Mach'a ve şimdi yeniden özel görelilik kuramı ile bir kez dâhil gerçekliğin alanının -uzay değil uzay-zaman olarak kabul edilen alanın- hareket için bir referans sistemi sağlamaya yeterli olduğunu söyleyen Einstein'a.

Kütleçekimi ve Çok Eski Bir Soru

Mach'ın fikirleri geçerliliğini yitirdiğine ve Einstein, Newton'un mutlak uzay ve zaman kavramlarını çok temel bir biçimde güncelleştirerek günün galibi olduğuna göre, artık bu noktada kova öyküsünün sonuna geldiğimizi düşünebilirsiniz. Aslında gerçek daha ilginçtir ve anlaşılması biraz daha zordur. Eğer şimdiye kadar anlattığımız görüşlerle ilk defa karşılaştıysanız, bu bölümün son kısımlarına geçmeden önce biraz ara verseniz iyi olabilir. Tablo 3.1'de yeniden başlamak istediğinizde belleğinizi tazelemenizi sağlayacak bir özet göreceksiniz.

Tamam. Eğer bu sözcükleri okuyorsanız, uzay-zamanın öyküsünde yer alan, bir sonraki büyük adım için hazır olduğunuzu varsayıyorum. Bu

adımın atılmasını sağlayan Ernst Mach'ın ta kendisidir. Her ne kadar özel görelilik, Mach'ın kuramından farklı olarak, bomboş bir evrende dönmekte olan bir kovanın iç duvarına bastırıldığınızı hissedeceğiniz ve dönmekte olan iki taşın arasındaki ipin gerileceği sonucuna varmış olsa bile, Einstein hâlâ Mach'ın fikirlerinden etkileniyordu. Ancak bu fikirlerin ciddi bir biçimde göz önüne alınmaları için genişletilmeleri gerektiğini anlamıştı. Mach hiçbir zaman, kendi çevrenizde dönerken kollarınızın dışarı savrulmasını ya da dönen bir kovanın iç duvarına bastırıldığınızı hissetmenizi uzak yıldızların nasıl etkiliyor olabileceği konusunda bir mekanizma ortaya koymamıştı. Einstein, eğer böyle bir mekanizma varsa bunun kütleçekimiyle ilgili olabileceğini düşünmeye başladı.

Bunu fark etmek Einstein'a çok çekici geldi, çünkü yaptığı çözümlemenin anlaşılabilir ve yeniden şekillendirilebilir olmasını sağlamak amacıyla kütleçekimini tümüyle göz ardı etmişti. Hem özel göreliliği hem de kütleçekimini içeren daha sağlam bir kuram Mach'ın görüşleri ile ilgili farklı bir sonuca ulaşılmasını sağlayabilir belki, diye düşündü. Özel göreliliğin kütleçekimini de kapsayacak şekilde genelleştirilmiş hali belki, maddenin -hem bize yakın hem de bizden uzaktaki maddenin- ivmelendiğimiz zaman hissettiğimiz kuvvetten sorumlu olduğunu göste-rebilirdi.

Newton	Uzay bir varlıktır; ivmeli hareket göreli değildir; mutlakçı konum
Leibniz	Uzay bir varlık değildir; hareketin tüm öğeleri görelidir; görelilikçi konum
Mach	Uzay bir varlık değildir; ivmeli hareket evrendeki ortalama kütle dağılımına göre görelidir; görelilikçi konum
Einstein (Özel Görelilik)	Uzay da zaman da görelidir; uzay-zaman mutlak bir varlıktır

Tablo 3.1 Uzayın ve uzay-zamanın doğası ile ilgili düşüncelerin bir özeti

Einstein'ın dikkatini kütleçekimi üzerinde yoğunlaştırmasının ikinci ve daha acil bir nedeni vardı. Hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı olmadığını öne süren özel göreliliğin, iki yüzyıldan daha uzun bir zaman Ay'ın, gezegenlerin, kuyrukluyıldızların ve gökyüzüne doğru fırlatılan her şeyin

hareketini inanılmaz bir kesinlikle öngören Newton'un evrensel kütleçekimi yasası ile tamamen çeliştiğini fark etmişti. Newton'un evrensel yasasının deneysel başarısına rağmen, Einstein Newton a göre kütleçekiminin etkisinin bir yerden diğerine, örneğin Güneş'ten Dünyaya, Dünya'dan Ay'a, herhangi bir yerden herhangi bir yere anında, ışık hızından çok daha hızlı ulaştığını anlamıştı. Bu, özel görelilikle doğrudan çelişiyordu.

Bu çelişkiyi bir örnekle açıklayalım: Düş kırıklığı içinde olduğunuz bir gece (tuttuğunuz takım yenilmiş, hiç kimse doğum gününüzü hatırlamamış, en sevdiğiniz pastanın son dilimini başka biri yemiş) kafanızı dinlemek için teknenize binip denize açıldığınızı düşünün. Ay tepede, sular yüksek (suların yükselmesine neden olan kuvvet Ay'ın kütleçekimidir), ay ışığı suyun dalgalı yüzeyinde dans ediyor. Ama zaten gecenizin berbat geçtiği yetmiyormuş gibi, düşmanca davranan dünya dışı yaratıklar belirip Ay 'ı birdenbire galaksinin öbür ucuna gönderiveriyorlar. Ay'ın birdenbire ortadan yok olması her durumda garip olacaktır, ama eğer Newton'un kütleçekimi yasası doğruysa, çok daha garip bir şey olacaktır. Newton Yasası, Ay'ın kütleçekiminin yok olması nedeniyle, siz Ay'ın kaybolduğunu görmeden yaklaşık bir buçuk saniye önce suların alçalmaya başlayacağını öngörmektedir. Yanşa tabanca patlamadan önce başlayan bir atlet gibi, su da bir buçuk saniye önce çekilmeye başlıyormuş gibi görünecektir.

Newton'a göre bunun nedeni, Ay ortadan yok olur olmaz kütleçekiminin de o anda yok olacak olması, kütleçekiminin yokluğu sonucunda da suların Kemen çekilmeye başlayacak olmasıdır. Ama ışığın Ay'la Dünyaya arasındaki 380.000 kilometre mesafeyi kat etmesi bir buçuk saniye alacağından, siz Ay'ın kaybolduğunu hemen göremezdiniz; bir buçuk saniye süreyle daha Ay her zamanki gibi gökte pırıl pırıl parlarken sular çekiliyor gibi görünürdü. Yani Newton'un yaklaşımına göre kütleçekimi bizi ışıktan önce etkiler -kütleçekimi ışıktan hızlıdır- ama Einstein bunun doğru olmadığından emindi.

1907 yılında, Einstein en az Newton'unki kadar kesin, ama özel görelilikle çelişmeyecek bir kütleçekimi kuramı formüle edebilmek için aralıksız çalıştı. Bu iş, her şeyin ötesinde bir meydan okumaya dönüşmüştü. Einstein'ın muhteşem zekâsı sonunda kendine denk bir problem bulmuştu. O dönemden kalan defterleri, yarı formüle edilmiş fikirler, küçük hataların yanlış yönlere götürmesi nedeniyle kıl payıyla ıskalanan hedefler, problem çözüldü kanısıyla konulmuş işaretlerin hemen yanında yeni bir hata yaptığını fark ettiğini gösteren ünlemlerle doludur. Einstein çalışmasını

1915'te nihayet ortaya çıkardı. Her ne kadar önemli noktalarda, başta matematikçi Marcel Grossmann'dan olmak üzere yardım aldıysa da, genel göreliliğin keşfi, tek bir insanın zihninin evreni anlamak üzere ortaya koyduğu muazzam çabanın en az bulunan örneklerinden biridir. Sonuç ise kuantum öncesi fiziğin en değerli mücevheridir.

Einstein'ın genel göreliliğe yaptığı yolculuk, Newton'un iki yüzyıl önce, biraz utanarak da olsa kaçındığı temel bir soru ile başlamıştır. Kütleçekimi, etkisini uzayda çok büyük uzaklıklarda nasıl gösteriyor? O kadar uzaktaki Güneş, Dünya'nın hareketlerini nasıl etkiliyor? Güneş Dünyaya dokunmadan nasıl kuvvet uygulayabiliyor? Kısacası, kütleçekimi işini nasıl yapıyor? Her ne kadar Newton, kütleçekiminin etkisini büyük bir kesinlikle tanımlayan bir formül keşfetmişse de, kütleçekiminin aslında nasıl işlediğine ilişkin önemli soruyu yanıtsız bıraktığının pekâlâ farkındaydı. Principia adlı eserinde, durumdan kendisinin de hoşlanmadığını belirtir bir ifadeyle şöyle yazmıştır: "Bu soruyu, düşünmeleri için okuyuculara bırakıyorum."' Bu problem ile Faraday'ın ve Maxwell'in 1800'lerde manyetik alan kavramını kullanarak mıknatısların hiç dokunmadıkları cisimleri etkilemesi olgusunu çözmeleri arasındaki benzerliği görebilirsiniz. Dolayısıyla kütleçekimi için de benzer bir yanıt önerilebilir: Kütleçekimi etkisini bir başka alan, kütleçekimi alanı yoluyla iletir. Genel olarak bu doğru bir öneridir. Ama bu yanıtı özel görelilikle çelişkiye düşmeden algılayıp değerlendirmek zordur.

Çok zordur. Einstein'ın kendini adadığı çalışma işte buydu. On yıla yakın bir süre yürüttüğü karmaşık araştırmalardan sonra geliştirdiği göz kamaştırıcı yapı ile Newton'un o zamana kadar büyük saygı gören kütleçekimi kuramını yıktı. Aynı derecede göz kamaştırıcı olan bir başka nokta da Einstein'ın kilit önem taşıyan keşfinin, Newton'un kova örneği ile dikkat çektiği konuyla sıkı sıkıya bağlantılı olması, yani öykünün bir daire çizip tekrar başa dönmesidir: ivmeli hareketin gerçek doğası nedir?

Kütleçekimi ile İvmenin Eşdeğerliği

Özel görelilikte Einstein'ın asıl odaklandığı konu sabit hızla hareket eden gözlemcilerdir, yani hareketi hissetmedikleri için kendilerinin sabit olduğunu ve her şeyin onlara göre hareket ettiğini öne süren ve bunda da haklı olan gözlemciler. Trendeki Itchy, Scratchy ve Apu hiçbir hareket

hissetmez. Onların bakış arısından, Martin ve platformdaki herkes hareket etmektedir. Martin de hiçbir hareket hissetmez. Ona göre hareket eden tren ve içindeki yolculardır. Bu bakış açılarından biri diğerinden daha doğrudur diyemeyiz. Ama ivmeli hareket farklıdır, çünkü ivmeli hareketi hissedebilirsiniz. Bir otomobil ileriye doğru ivmelenirken koltuğun arkalığına doğru bastırıldığınızı, bir tren keskin bir dönemece girdiğinde yana doğru savrulduğunuzu, yukarı doğru ivmelenen bir asansörde asansörün zeminine doğru bastırıldığınızı hissedersiniz.

Hissedilen bu kuvvetler Einstein'a çok tanıdık gelmiştir. Örneğin keskin bir dönemece yaklaşırken, dönemeci alırken hissedeceğiniz kuvvet kaçınılmaz olduğundan, yana savrulmaya hazırlanmak için kendinizi kasarsınız. Kendinizi bu etkiden korumanın hiçbir yolu yoktur. Bu kuvvetten kurtulmanın tek yolu planınızı değiştirip dönemeci almaktan vazgeçmektir, işte bu, Einstein'ın kafasında bir şimşek çakmasına neden oldu. Kütleçekimi kuvvetinin de tamamen aynı özelliklere sahip olduğunu fark etti. Eğer Dünya'nın üzerindeyseniz, Dünya'nın kütleçekimi kuvvetinin etkisi altındasınızdır. Bu, kaçınılmazdır. Başka bir yol yoktur. Kendinizi elektromanyetik ve nükleer (çekirdek- sel) kuvvetlerden koruyabilirsiniz, ama kütleçekiminden korunmanın hiçbir yolu yoktur. 1907 yılında bir gün, Einstein bunun yalnızca bir benzetme olmadığını anladı. Bilim insanlarının bazen bir ömür boyu bekledikleri bir içgörü anında, Einstein kütleçekiminin ve ivmeli hareketin, aynı bir madeni paranın iki yüzü gibi olduklarını anladı.

Einstein, yapmayı planladığınız hareketi değiştirerek (ivmelenmekten kaçınarak) otomobil koltuğunda arkalığa doğru bastırılmaktan veya trende yana savrulmaktan kaçınabileceğiniz gibi, hareketinizi uygun bir biçimde değiştirerek kütleçekimi ile ilgili o bildik duyumdan da kaçınabileceğinizi buldu. Bu fikir, şaşılacak derecede basittir. Bunu anlamak için Barney'nin bir umut, Springfield'deki bütün göbekli erkeklerin katıldığı, bir ay sürecek göbek eritme yarışmasını kazanmaya çalıştığını düşünelim. iki hafta süreyle yalnızca sıvıyla beslenen Barney, göbeği hâlâ engel olduğu için banyodaki tartıyı okuyamadığını görünce tüm umudunu yitirir. O düş kırıklığıyla, tartı da ayağına yapışmıştır bu arada, banyo penceresinden aşağı atlar. Aşağıya doğru düşerken, komşunun havuzuna dalmadan hemen önce tartıya bakan Barney acaba ne görmüştür? O sırada tartının sıfırı göstereceğini ilk ve tam olarak anlayan kişi Einstein olmuştur. Tartı Barney ile tam olarak aynı hızda düştüğü için Barney'nin ayakları tartıya basınç

yapmayacaktır. Serbest düşme sırasında Barney, astronotların uzayda yaşadıkları ağırlıksızlık duygusunu yaşayacaktır.

Gerçekten de, eğer Barney'nin pencereden havası tamamen alınmış bir boşluğa atladığını düşünürsek, dolayısıyla aşağı doğru düşerken yalnızca havanın oluşturduğu direnç ortadan kalkmış olmayacak, Barney'nin vücudundaki her atom aynı hızla düşmekte olduğundan vücudunda hissettiği dış etkilerden kaynaklanan -ayakların ayak bileklerine, bacakların kalçalara ve kolların omuzlara uyguladığı- tüm baskı ve gerilmeler de ortadan kalkacaktır. Eğer Barney düşerken gözlerini kapatırsa, uzayın karanlığında yüzüyor olsaydı hissedeceklerinin aynısını hissedecektir, (içinde insan olmayan örnekleri tercih ediyorsanız, havası boşaltılmış bir yere birbirlerine iple bağlı iki taş atarsanız da sanki taşlar uzayda yüzüyormuş gibi aralarındaki ip gerilmez, gevşek kalır.) Yani Barney hareket durumunu değiştirerek -kendini tamamen "kütleçekimine bırakarak"- kütleçekiminin olmadığı bir ortamı taklit etmiş olur. (Nitekim NASA'da görevli astronotlar da dış uzayın kütleçekimsiz ortamına hazırlanmaları için takma adı Vomit Comet (Kusturucu Kuyrukluyıldız) olan özel bir 707 ile uçurulur. Bu uçuşlarda uçak tekrar tekrar Dünyaya doğru serbest düşüş hareketi yapar.)

Aynı şekilde, hareket durumunu uygun biçimde değiştirerek, temelde kütleçekimi ile aynı olan bir kuvvet yaratabilirsiniz. Örneğin, Barney'nin tartı hâlâ ayağına yapışık vaziyetteyken ve hâlâ sıfırı gösterirken uzay kapsülünde ağırlıksız olarak "yüzmekte olan" astronotlara katıldığını düşünelim. Eğer roketler ateşlenip kapsül yukarı doğru ivmelenirse, her şey tamamen değişecektir. Tıpkı yukarı doğru ivmelenen bir asansörün tabanına bastırıldığını hissetmeniz gibi, Barney de kapsülün tabanına doğru bastırıldığını hissedecektir. Artık ayakları da tartıya bastırdığı için tartı sıfır göstermeyecektir. Eğer roketler tam gereken güçte ateşlenirse tartının gösterdiği rakam banyodayken gösterdiği rakamla aynı olacaktır. Uygun ivmelenme hareketinin gerçekleşmesi sonucunda, Barney kütleçekiminden ayırt edilmesi olanaksız bir kuvvet hissetmektedir.

Aynı şey ivmeli hareketin diğer türleri için de geçerlidir. Eğer Barney, dış uzayda dönmekte olan kovanın içindeki Homer'in yanına gidip de Homer'e dik açı yapacak şekilde dursaydı -yani ayakları ve tartı kovanın iç duvarına basacak şekilde dursaydı- ayakları tartıya bastıracağı için tartı sıfırdan farklı bir sayı gösterirdi. Eğer kova tam gereken hızda dönüyor olsaydı,

tartı Barney'nin banyoda okuduğu rakamı gösterirdi: Yani dönmekte olan kovanın ivmesi de Dünya'nın kütleçekimini taklit eder.

Tüm bunlar, Einstein'ın kütleçekiminden hissedilen kuvvetle ivmeden hissedilen kuvvetin aynı, yani eşdeğer, olduğu sonucuna varmasına neden oldu. Einstein buna eşdeğerlik ilkesi adını verdi.

Bunun ne anlama geldiğine bir bakalım. Şu anda kütleçekiminin etkisini hissediyorsunuz. Eğer ayaktaysanız, ayaklarınız yerin vücudunuzun ağırlığını desteklediğini hissediyor. Eğer oturuyorsanız, bu desteği bir başka yerinizle hissediyorsunuz. Eğer bu kitabı bir otomobilde ya da uçakta okumuyorsanız, büyük olasılıkla durağan olduğunuzu -yani ivmelenmediğinizi hatta hiç hareket etmediğinizi- düşünüyorsunuz. Ama Einstein'a göre aslında ivmeleniyorsunuz. Hareketsiz oturduğunuz için bu size biraz aptalca gelebilir, ama her zamanki soruyu sormayı ihmal etmeyin: Hangi referans noktasına göre ivmeleniyorum? Kimin bakış açısına göre ivmeleniyorum?

Einstein özel görelilikte referans sistemini mutlak uzay- zamanın sağladığını söyler, ama özel görelilik kütleçekimini hesaba katmaz. Einstein, eşdeğerlik ilkesi sayesinde kütleçekimini de hesaba katan çok daha sağlam bir referans sistemi bulmuş oldu. Bu da bakış açısında kökten bir değişikliğe yol açtı. Kütleçekimi ve ivme eşdeğer olduğuna göre, kütleçekiminin etkisini hissediyorsanız ivmeleniyor olmanız gerekir. Einstein sadece, kütleçekimi kuvveti de dâhil olmak üzere hiçbir kuvvet hissetmeyen gözlemcilerin ivmelenmediklerini söylemekte haklı olacaklarını öne sürdü. Böyle kuvvetten bağımsız gözlemciler hareketi incelemek için gerçek referans noktaları oluşturur; işte bu kavrayış da böyle şeyler hakkındaki normal düşünüş biçimimizde çok temel bir değişiklik gerektirir. Pencereden havası boşaltılmış bir yere atlayan Barney'nin normalde yere doğru ivmelenerek indiğini söyleriz. Ama bu, Einstein'ın kabul edeceği bir tanım değildir. Einstein'a göre, Barney ivmelenmemektedir. Hiçbir kuvvet hissetmez. Ağırlıksızdır. Boş uzayın karanlığında yüzüyormuş gibi hisseder. Bütün hareketlerin karşılaştırılacağı standardı Barney oluşturmaktadır. Bu karşılaştırmaya göre, şu anda evinizde bu kitabı okurken siz de ivmeleniyorsunuz demektir. Barney düşerken pencerenizin önünden geçer ve onun bakış açısına göre -ki Einstein'a göre hareket için gerçek referans noktası budur- siz, Dünya ve normalde durağan olduğunu düşündüğümüz her şey yukarı doğru ivmelenmektedir. Yani

Einstein, elmanın Newton'un kafasına düşmediğini, Newton'un yükselerek elmaya çarptığını öne sürerdi.

Bunun hareket konusunda tamamen farklı bir düşünme biçimi olduğu açıktır. En basit algıyla, kütleçekiminin etkisini ancak ona direnirseniz hissedersiniz. Ama kendinizi tümüyle kütleçekimine bırakırsanız, onu hissetmezsiniz. Başka hiçbir etkiye (örneğin havanın direncine) maruz kalmadığınızı varsayarsak, kütleçekimine teslim olur ve kendinizi serbest düşmeye bırakırsanız, boş uzayda yüzüyor olsaydınız hissedeceğiniz gibi hissedersiniz. Bu durumda sizin bakış açınız, hiç duraksamadan, ivmelenmeyen bir kimsenin bakış açısı olarak değerlendirilir.

Toparlayacak olursak, ister uzayın derinliklerinde olsunlar ister birazdan yere çarpacak şekilde serbest düşme hareketi yapıyor olsunlar, yalnızca serbest olarak yüzmekte olan bireyler hiçbir ivme yaşamadıklarını söylemekte haklıdır. Eğer böyle bir gözlemcinin yanından geçerseniz ve sizinle onun arasında göreli bir ivmelenme varsa, o zaman Einstein'a göre siz ivmeleniyorsunuz demektir.

Gerçekten de ne Itchy, ne Scratchy, ne Apu, ne Martin düello sırasında ivmelenmediklerini öne sürebilir, çünkü tümü de kütleçekiminin kendilerini aşağıya doğru çektiğini hissetmektedir Bu, önceki tartışmamızı etkilemez çünkü orada sadece yatay hareketle, yani tüm katılımcıların hissettiği düşey kütleçekiminden etkilenmeyen hareketle ilgilenmiştik. Ama önemli bir ilke olarak tekrar belirtelim, Einstein'ın kütleçekimi ile ivme arasında bulduğu bağ, ancak hiçbir kuvvet hissetmeyen gözlemcileri durağan kabul edebileceğimiz anlamına gelir.

Kütleçekimi ile ivme arasında bağ kuran Einstein, artık Newton un cevapsız bıraktığı soruyu ele almaya ve kütleçekiminin etkisini nasıl uyguladığını araştırmaya hazırdı.

Yamulmalar, Eğriler ve Kütleçekimi

Einstein özel görelilikle, her gözlemcinin uzay-zamanı, zamanda ardışık olarak birbirini izleyen anlarda uzayın tümü olarak kabul ettikleri paralel dilimlere böldüğünü gösterdi. Ama burada beklenmedik bir değişiklik vardı: Birbirlerine göre sabit hızla hareket eden gözlemciler uzay-zamanı farklı açılarla keseceklerdi. Eğer böyle gözlemcilerden biri ivmelenmeye

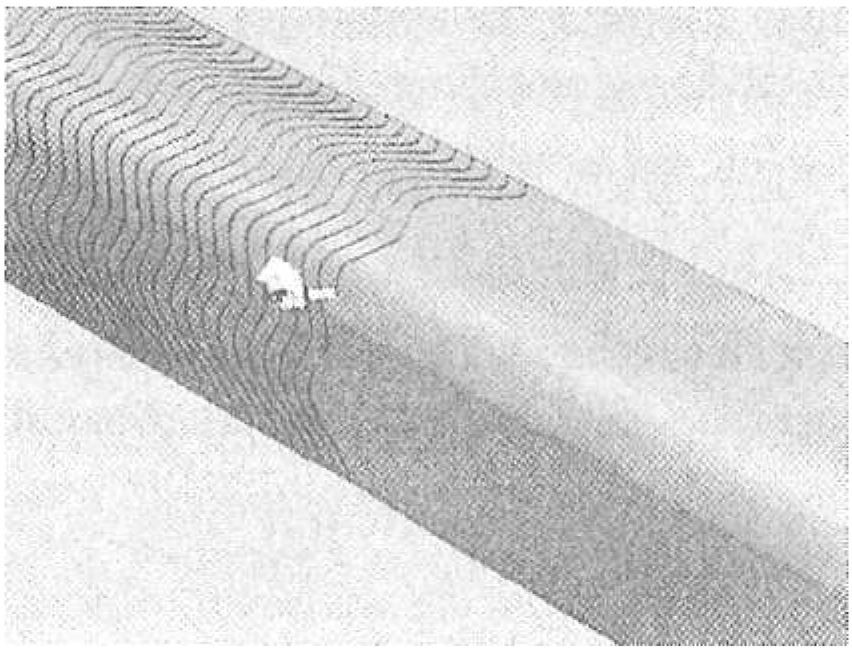
başlarsa, hızındaki ve/veya hareket yönündeki anlık değişmelerin, kestiği dilimlerin açılarının ve yönelişlerinin değişmesiyle sonuçlanacağını tahmin edebilirsiniz. Olan, kabaca budur. Carl Friedrich Gauss'un, Bernhard Riemann'ın ve diğer on dokuzuncu yüzyıl matematikçilerinin öne sürdüğü görüşlerden yararlanan Einstein, uzay-zaman somununun farklı açılarda kesilmiş dilimlerinin, git gide eğri dilimlere dönüştüğünü ama bunların, Şekil 3.8'de şematik olarak gösterildiği biçimde, tıpkı iç içe geçmiş kaşıklar gibi birbirlerine tam olarak uyduğunu gösterdi. Yani ivmelenen bir gözlemcinin keseceği uzay dilimleri yamulmuş olacaktı.

Einstein, bu kavrayışla, eşdeğerlik ilkesinden çok etkili bir biçimde faydalanmış oluyordu. Kütleçekimi ve ivme eşdeğerli olduklarından, Einstein kütleçekiminin uzay-zamanın dokusundaki yamulmalardan ve eğrilmelerden başka bir şey olamayacağını anladı. Şimdi bunun ne anlama geldiğini görelim.

Eğer düzgün bir ahşap yüzey üzerinde bir bilye yuvarlarsanız, bilye doğru bir çizgi üzerinde yol alır. Ama eğer odayı bir süre önce su basmış ve zemin kururken bazı yerleri yamulmuş ve eğrilmişse bilye artık aynı yolu izlemeyecektir. Yüzeydeki yamulmaları ve eğrilmeleri izleyerek farklı yönlere gidecektir. Einstein işte bu basit fikri evrenin dokusuna uyguladı. Madde ve enerjinin olmadığı bir durumda -yani Güneş'in, Dünya'nın ve yıldızların olmadığı durumda- uzay-zamanda yamulmalar ve eğriler (nasıl düzgün bir ahşap yüzeyde de yoksa) yoktur. O koşulda uzay-zaman düzdür. Bu durum uzayın bir dilimi üzerine odaklandığımız Şekil 3.9a'da şematik olarak gösterilmiştir. Elbette uzay aslında üç boyutludur, dolayısıyla Şekil 3.9b'deki gösterim daha doğrudur, ama iki boyutlu çizimleri anlamak daha kolay olduğundan bunları kullanmayı sürdüreceğiz. Einstein madde ve enerjinin uzayda, su basmasının ahşap zemin üzerinde yarattığı etkiye benzer bir etki yarattığını düşündü. Madde ve enerji, örneğin Güneş, Şekil 3.10a ve 3.10b'de gösterildiği gibi uzayın (ve uzay-zamanın) yamulmasına ve eğrilmesine neden olur. Einstein, yamulmuş ahşap yüzeyde eğri bir yol izleyerek yuvarlanan bilye gibi, yamulmuş uzayda hareket eden bütün cisimlerin -örneğin Güneş'in yakınlarında hareket eden Dünya'nın- Şekil 3.11a ve 3.1lb'de gösterildiği gibi eğri bir yol izleyeceğini gösterdi.

Sanki madde ve enerji, uzay-zamanın dokusunun görünmez eliyle, cisimleri yönlendirdiği, kanallardan ve vadilerden oluşan bir ağ oluşturuyor gibidir. Einstein'a göre, kütleçekimi etkisini işte böyle göstermektedir. Aynı şey yakın çevremizde de olur: Şu anda vücudunuz, Dünya'nın uzay-

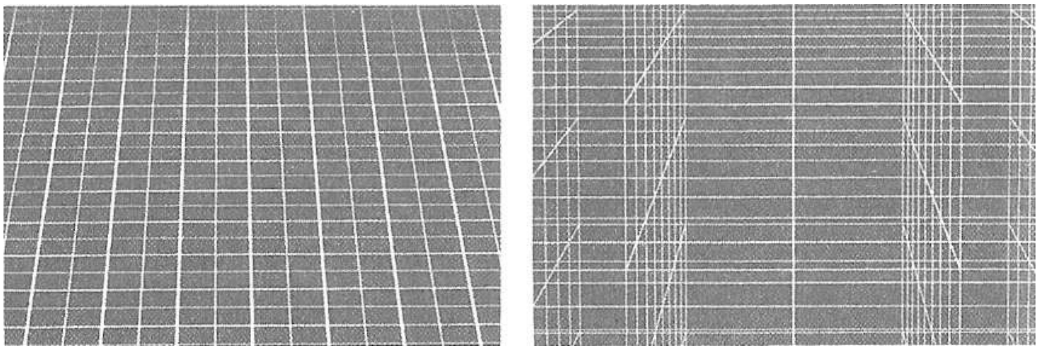
zamanın dokusunda neden olduğu bir girintiye doğru kaymak istiyor. Ama hareketiniz, üzerinde durduğunuz ya da oturduğunuz yüzey tarafından engelleniyor. Yaşamınızın her anında hissettiğiniz o yukarı doğru itme - yürürken olsun, odanızda dururken olsun, koltuğunuzda oturur ya da yatağınızda yatarken olsun- uzay-zamandaki bir vadiden kaymanızı engellemeye yarıyor. Bir tramplenden atladığınızda, vücudunuzun uzay-zamandaki kanallardan biri boyunca serbestçe hareket etmesine izin vererek kütleçekimine teslim oluyorsunuz demektir.



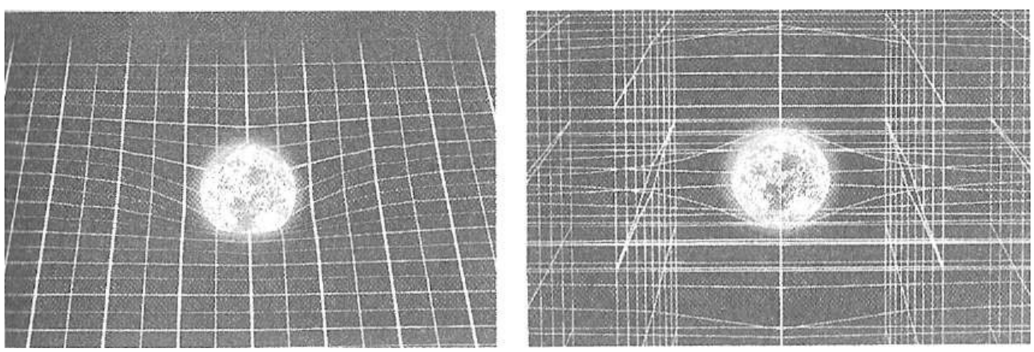
Şekil 3.8 Genel göreliliğe göre, uzay-zaman somuna, (birbirlerine göre hareketli olan gözlemciler tarafından) belli anlarda ve farklı açılarda uzay dilimlerine bölünmekle kalmayacak, dilimlerin kendileri de madde ve enerjinin varlığı nedeniyle yamulup eğrilecektir.

Şekil 3.9, Şekil 3.10 ve Şekil 3.11 şematik olarak Einstein'ın zaferle sonuçlanan on yıllık mücadelesini gösteriyor. Einstein'ın o yıllar boyunca yaptığı çalışmaların büyük bir kısmı, belli miktardaki madde ve enerjinin neden olacağı yamulmanın biçimini ve büyüklüğünü tam olarak belirlemeye yönelikti. Gördüğünüz şekillerin temelinde Einstein'ın bulduğu matematiksel sonuç yatmaktadır ve bu matematiksel sonuç Einstein Alan Denklemleri adı verilen denklemlerde somutlaşır. Bu addan da anlaşıldığı gibi, Einstein uzay-zamanın yamulmasına bir kütleçekimi alanının kanıtı - yani geometrik olarak somutlaşması- olarak bakıyordu. Einstein problemi

geometrik olarak tanımlayarak, Maxwell denklemlerinin elektromanyetizma için yaptığını kütleçekimi için yapan denklemler bulmayı başarmıştı.



Şekil 3.9 (a) Düz uzay (ikiboyutlu) (b) Düz uzay (üçboyutlu)

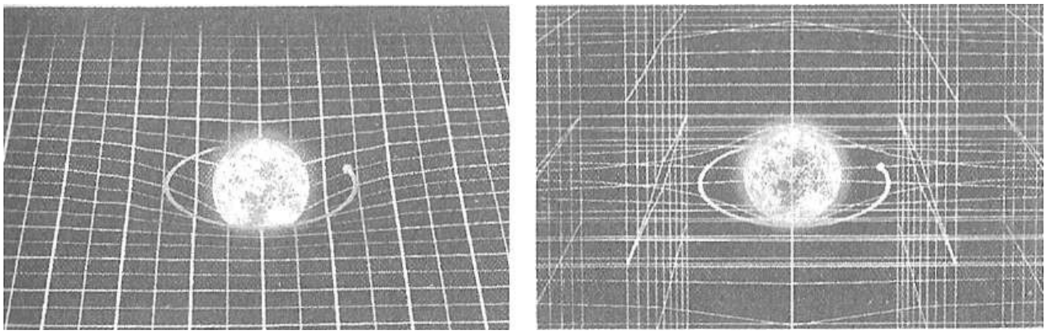


Şekil 3.10 (a) Güneş'in uzayı yamultması (ikiboyutlu) (b) Güneş'in uzayı yamultması (üçboyutlu)

Bu addan da anlaşıldığı gibi, Einstein uzay-zamanın yamulmasına bir kütleçekimi alanının kanıtı -yani geometrik olarak somutlaşması- olarak bakıyordu. Einstein problemi geometrik olarak tanımlayarak, Maxwell denklemlerinin elektromanyetizma için yaptığını kütleçekimi için yapan denklemler bulmayı başarmıştı.

Einstein ve başkaları bu denklemleri kullanarak, şu ya da bu gezegenin, hatta uzak bir yıldızdan yayılan ışığın eğrilmiş uzay- zamanda hareket ederken izleyeceği yol hakkında öngörülerde bulunabildiler. Bu

öngörüler büyük bir kesinlikle doğrulanmakla kalmadı, Newton'un kuramının öngörüleriyle karşılaştırıldığında Einstein'ın kuramının özellikle detaylarda gerçeğe tutarlı bir biçimde uyduğu anlaşıldı.



Şekil 3.11 Dünya, Güneş'in varlığının uzay-zamanın dokusunda neden olduğu eğrileri izlediği için Güneş'in çevresinde yörüngede kalır, (a) ikiboyutlu (b) Üçboyutlu

Kütleçekiminin etkisini hangi mekanizmayla gösterdiğini ayrıntılı olarak betimlediği için, genel göreliliğin kütleçekiminin etkisini ne kadar hızlı ilettiğini belirlemek üzere bir çerçeve oluşturması da aynı derecede önemlidir.

Kütleçekiminin iletilmesinin hızı, uzayın şeklinin zaman içinde ne kadar hızlı değişebileceği sorusuna gelip dayanır. Yani, yamulmalar ve dalgacıklar -durgun bir havuza atılan bir çakıl taşının yarattığı dalgacıklara benzer- uzayda bir yerden bir yere ne kadar hızlı yayılabilir? Einstein bunu hesaplamayı başardı, ulaştığı sonuç son derece sevindiriciydi. Einstein, yamulmanın ve dalgacıkların -yani kütleçekiminin- Newton'un kütleçekimi hesaplarında olduğu gibi bir yerden bir yere anında yayılmadığını buldu. Bu yamulmalar ve dalgacıklar tam olarak ışık hızıyla yayılır. Ne biraz daha az, ne biraz daha fazla; tam olarak özel göreliliğin koyduğu hız sınırına uyan bir hızda yayılırlar. Eğer dünya dışı yaratıklar Ay'ı yörüngesinden çıkarsaydı, sular bir buçuk saniye sonra çekilmeye başlayacaktı, tam da bizim Ay'ın kaybolduğunu göreceğimiz anda. Newton'un kuramının başarısız olduğu yerde Einstein'ın genel göreliliği üstün geliyordu.

Genel Görelilik ve Kova

Genel görelilik bize matematiksel olarak zarif, kavramsal olarak güçlü ve ilk kez tümüyle tutarlı bir kütleçekimi kuramı kazandırmanın ötesinde, uzay ve zamana bakışımızı da tamamen yeniden biçimlendirmiştir. Hem Newton'un görüşüne, hem de özel göreliliğe göre uzay ve zaman, evrendeki olaylar için değişmeyen bir sahne oluşturmaktaydı. Her ne kadar kozmosu ardışık anlarda uzay dilimlerine bölmek özel göreliliğe Newton'un zamanında akla bile gelmeyecek bir esneklik veriyorsa da, uzay ve zaman evrende olup bitenlere tepki vermez. Uzay-zaman (ya da hep dediğimiz gibi somun) artık verili kabul edilmektedir. Genel görelilikte bunlar değişir. Uzay ve zaman, evrilmekte olan evrendeki oyuncular haline gelir, canlanırlar. Buradaki madde oradaki uzayın yamulmasına neden olur, bu yamulma oradaki maddenin hareket etmesine, bu da daha uzaktaki uzayın daha fazla yamulmasına neden olur vb. Genel görelilik uzayın, zamanın, maddenin ve enerjinin iç içe geçmiş kozmik dansının koreografisini yapar.

Bu çok çarpıcı bir gelişmedir. Ama şimdi, asıl konumuza geri dönmeliyiz: Kovaya ne olur? Genel görelilik, Einstein'ın umduğu gibi, Mach'ın görelilikçi fikirleri için gereken fizik temelini oluşturur mu?

Yıllar içinde bu soru çok tartışma yarattı. Einstein başlangıçta genel göreliliğin, Mach'ın bakış açısını -ki Einstein çok önemli bulduğu bu bakış açısına Mach ilkesi adını vermişti- tamamıyla içerdiğini düşünmüştü. Nitekim 1913'te genel göreliliğin son parçalarını yerli yerine koymak için yoğun bir şekilde çalışırken, Mach'a, genel göreliliğin Mach'ın Newton'un kova deneyi ile ilgili analizini nasıl doğrulayacağını heyecanla anlattığı bir mektup yazmıştı. 1918'de, genel göreliliğin ardındaki üç temel tileri sıraladığı bir makale yazdığında da listedeki üçüncü fikir Mach ilkesiydi. Ama genel göreliliğin anlaşılması zordur ve bazı özelliklerinin tam olarak değerlendirilmesi, aralarında Einstein'ın da olduğu fizikçilerin yıllarını almıştır. Bu özellikler daha iyi anlaşıldıkça, Einstein Mach ilkesinin genel görelilikle birleştirilmesinin giderek zorlaştığını anlamaya başlamıştı. Mach'ın fikirleri Einstein için yavaş yavaş hayal kırıklığına dönüşmüş ve ömrünün ileriki yıllarında bu fikirleri terk etmiştir.

Daha sonra devam eden yarım yüzyıllık araştırmalar sayesinde ve bugünden geriye bakınca, genel göreliliğin Mach'ın akıl yürütmesine ne derece uyduğunu tekrar gözden geçirebiliriz. Her ne kadar bu konuda hâlâ bazı tartışmalar varsa da, sanırım en doğru ifade şu: Genel görelilik bazı bakımlardan belirgin bir Machçı niteliğe sahip, ama Mach'ın savunduğu tamamen görelilikçi bakış açısına uymuyor. Şunu demek istiyorum:

Mach, dönmekte olan suyun yüzeyinin içbükey olmasının, kollarınızın dışarıya doğru savrulduğunu hissetmenizin, iki taşı birbirine bağlayan ipin gerilmesinin varsayımsal -ve Mach'a göre tamamen hatalı- bir mutlak uzay (bugünkü anlayışımıza göre mutlak uzay-zaman) kavramıyla ilgisi olmadığını ileri sürmüştü. Mach, bütün bunların, kozmosa dağılmış bütün maddeye göre ivmeli hareketin kanıtı olduğunu söylüyordu. Madde olmasaydı ivme kavramı olmayacaktı ve yukarıda sıralanan fiziksel etkilerin (suyun yüzeyinin içbükey olması, kolların dışarı doğru savrulması, ipin gerilmesi) hiçbiri gözlenmeyecekti.

Peki, genel görelilik bu konuda ne diyor?

Genel göreliliğe göre, bütün hareketlerin ve özellikle ivmeli hareketin referans sistemi, serbest düşme halindeki -kütleçekimine tümüyle teslim olmuş ve üzerlerine başka herhangi bir kuvvet etkimeyen- gözlemcilerdir. Şu önemli bir noktadır: Serbestçe düşmekte olan gözlemcinin maruz kaldığı kütleçekimi kuvveti, kozmosa dağılmış haldeki bütün maddeden (ve enerjiden) kaynaklanır. Dünya, Ay, uzak gezegenler, yıldızlar, gaz bulutları, kuazarlar ve galaksiler; hepsi, şu anda oturmakta olduğunuz yerdeki kütleçekimi alanına (geometri dilinde uzay-zamanın eğriliğine) katkıda bulunur. Daha büyük kütleli ve daha yakındaki şeyler daha büyük kütleçekimi etkisi uygular, ama yine de hissettiğiniz kütleçekimi alanı tüm maddenin toplam etkisini temsil eder. Kendinizi kütleçekiminin etkisine bırakıp da serbest düşme hareketi yapacak olsaydınız -bu durumda başka bir cismin ivmelenip ivmelenmediğine karar verilebilmesi için gereken referans noktası siz olurdunuz- izleyeceğiniz yol kozmostaki bütün madde, gökteki yıldızlar ve komşunuzun evi tarafından etkilenirdi. İşte bu nedenle, genel görelilikte bir cismin ivmelendiği söylendiği zaman, o cisim evrene dağılmış maddenin belirlediği referans sistemine göre ivmeleniyor demektir. Bu sonuç, Mach'ın savunduğu fikirleri andırmaktadır. Dolayısı ile bu anlamda genel görelilik Mach'ın düşüncelerinden bazılarını içerir.

Yine de, genel görelilik Mach'ın fikirlerinin tümüne uymaz. Bunu, bir kez daha, bomboş bir evrende dönmekte olan kova örneğinde doğrudan görebiliriz. Boş ve değişmeyen bir evrende -yıldızlar yok, gezegenler yok, hiçbir şey yok- kütleçekimi yoktur. Kütleçekimi olmadan da uzay yamulmaz -Şekil 3.9b'de gösterilen basit, hiçbir eğriliğin olmadığı bir halde olur- bu da özel göreliliğin basit yapısına geri döndüğümüz anlamına gelir. (Einstein'ın özel göreliliği geliştirirken kütleçekimini göz ardı ettiğini

unutmayın. Genel görelilik bu eksikliği kütleçekimini işin içine katarak telafi eder, ama evren boş ve değişmez olduğunda kütleçekimi de yoktur ve bu durumda genel görelilik özel göreliliğe dönüşür.) Kovayı şimdi bu boş evrene koyarsak, kütlesi çok küçük olduğundan varlığı uzayın şeklini hiç etkilemez. Bu nedenle daha önce ele aldığımız özel görelilik ve kova tartışması, genel görelilik için de aynen geçerli olur. Mach'ın öngörüsünün tersine, genel görelilik de özel görelilikle aynı cevabı verir ve bomboş bir evrende bile, dönmekte olan kovanın iç yüzüne doğru bastırıldığınızı hissedeceğinizi-, bomboş bir evrende, kendi çevrenizde döndüğünüzde kollarınızın dışarıya doğru savrulduğunu hissedeceğinizi-, bomboş bir evrende, dönmekte olan iki taşı birbirine bağlayan ipin gerileceğini söyler. Buradan, genel görelilikte bile boş uzay-zamanın ivmeli hareket için bir referans sistemi sağladığı sonucunu çıkarırız.

Bu nedenle, her ne kadar genel görelilik Mach'ın düşünüşündeki bazı öğeleri işin içine katıyorsa da, Mach'ın savunduğu, hareketin tümüyle göreli olduğu fikriyle uyuşmaz. Mach'ın ilkesi, devrim niteliğinde bir keşfi esinleyen ama o keşfin, kendisine esin kaynağı olan fikri tamamen içermediği kışkırtıcı fikirlere iyi bir örnektir.

Üçüncü Binyılda Uzay-Zaman

Dönen kovanın geçmişi oldukça eskidir. Newton'un mutlak uzay ve mutlak zamanından, Leibniz'in ve Mach'ın görelilikçi düşüncelerine, Einstein'ın özel görelilikle uzay ve zamanın göreli olduğunu, ama bir araya geldiklerinde mutlak uzay- zamanı oluşturduklarını fark edişine ve daha sonra genel görelilikle uzay-zamanın sürekli evrilen kozmosta dinamik bir oyuncu olduğunu keşfedişine kadar, kova hep oradaydı. Aklın gerisinde fırıl fırıl dönerek, uzayın görünmez, soyut ve elle tutulamaz özünün -daha genel olarak uzay-zamanın- hareket için sağlam bir referans sistemi oluşturup oluşturmadığını ölçen, basit ve sessiz bir sınav oluşturuyordu. Karar? Her ne kadar bu konu hâlâ tartışılmakta ise de, gördüğümüz gibi, Einstein ve genel göreliliğin en basit yorumu, uzay-zamanın böylesi bir referans noktası sağladığı yolundadır: Yani uzay-zaman bir şeydir.

Ancak bu sonucun, daha genel bir biçimde tanımlanan bir görelilikçi bakışın destekçileri tarafından da sevinçle karşılandığını gözden kaçırmamak gerekir. Newton'un ve ardından özel göreliliğin bakış açısına

göre, önce uzay sonradan da uzay-zaman, ivmeli hareketi tanımlamak için bir referans sistemi sağlayan varlıklar olarak kullanılmıştır. Bu bakış açılarına göre uzay ve uzay-zaman kesinlikle değişmez olduğu için, bu ivme kavramı da mutlaktır. Ama genel görelilikte uzay-zamanın karakteri tümüyle farklıdır. Genel görelilikte uzay ve zaman dinamiktir: Değişebilirler. Kütle ve enerjinin varlığına tepki verirler: Mutlak değildirler. Uzay-zaman ve özellikle de uzay-zamanın yamulması ve eğrilmesi, kütleçekimi alanının somutlaşmasıdır. Bu nedenle, genel görelilikte uzay-zamana göre ivme, önceki kuramlar tarafından kullanılan mutlak kavramdan çok uzaktır. Tam tersine, Einstein'ın ölmeden birkaç yıl önce kanıtladığı gibi, genel göreliliğin uzay-zamanına göre ivme görelilikçidir. Burada bahsedilen maddesel cisimlere, örneğin taşlara ya da yıldızlara göre ivme değil, ama bir o kadar gerçek, elle tutulur ve değişebilir bir şeye göre ivme: Bir alana, kütleçekimi alanına göre. Bu anlamda, genel görelilikte uzay-zaman -kütleçekiminin somutlaşmış hali olarak- öylesine gerçektir ki, oluşturduğu referans sistemini çoğu görelilikçi rahatlıkla kabul edebilir.

Bu bölümde ele alman konular üzerindeki tartışma, biz uzayın, zamanın ve uzay-zamanın gerçekte ne olduğunu anlamaya çalıştığımız sürece hiç kuşkusuz devam edecektir. Kuantum mekaniğinin gelişmesiyle işler biraz daha karmaşık hale gelmiştir. Kuantum belirsizliği sahneye çıktığında, boş uzay ve hiçlik kavramları yepyeni anlamlar kazanır. Nitekim Einstein'ın esir kavramını yok ettiği 1905'ten sonra uzayın görülemeyen maddelerle dolu olduğu fikri geri döndü. İlerideki bölümlerde göreceğiniz gibi, modern fizikteki önemli bazı gelişmelerle, esire benzeyen bir şeyin değişik türlerinin var olabileceği öne sürüldü. Bunların hiçbiri esir gibi hareket için mutlak bir standart oluşturmuyor, ama hepsi de uzay-zamanın boş olmasının ne demek olduğunu cesur bir biçimde sorguluyor. Üstelik şimdi göreceğimiz gibi, şaşırtıcı kuantum bağlantıları, klasik bir evrende uzayın - bir cismi diğerinden ayıran ortam olarak, bir cismin diğer bir cisimden ayrık ve bağımsız olduğunu kesin bir biçimde söyleyebilmemizi sağlayan ortam olarak uzayın- oynadığı en temel role meydan okuyor.

IV. Bölüm – Dolanık Uzay

Özel ve genel göreliliği kabul etmek, Newton'un mutlak uzay ve mutlak zamanından vazgeçmek demektir. Kolay olmasa da zihninizi bunu yapmak üzere eğitebilirsiniz. Her hareket edişinizde sizin şimdinizin, sizinle birlikte hareket etmeyenlerin şimdilerinden farklı hale geldiğini hayal edin. Bir otoyolda otomobil kullanırken saatinizin, yanlarından hızla geçip geçtiğiniz evlerdeki saatlerden daha farklı bir hızda çalıştığını ha3'al edin. Bir dağın tepesinden çevreye bakarken, dağın eteğinde kütleçekimi kuvvetini daha kuvvetli hissedenlere oranla zamanın sizin için uzay-zamanın yamulması nedeniyle daha hızlı geçtiğini hayal edin. "Hayal edin" diyorum, çünkü böyle sıradan durumlarda göreliliğin etkileri o kadar küçüktür ki hiç fark edilmezler. Bu nedenle, gündelik deneyimlerimiz, evrenin gerçekten nasıl işlediğini göstermez. Einstein'dan yüz yıl sonra hâlâ hiç kimsenin, hatta profesyonel fizikçilerin bile göreliliği iliklerinde hissetmemesinin nedeni budur. Bu, hiç de şaşırtıcı değil; göreliliği tam olarak kavramanın insana getirdiği "hayatta kalma" avantajının ne olduğunu anlamak zordur. Gündelik hayatta bizi etkileyen orta derecedeki kütleçekimi ve şahit olduğumuz düşük hızlarda, Newton'un aslında hatalı olan mutlak uzay ve mutlak zaman kavramları son derece mükemmel sonuçlar verir; o nedenle de duyularımız, görelilikçi bir kavrayış geliştirmek üzere evrimsel bir baskı altında değildir. Dolayısıyla da göreliliğin tam olarak farkına varmak ve gerçekten kavrayabilmek için çaba gösterip duyularımızın bıraktığı boşluğu zekâmızla doldurmamız gerekir.

Görelilik evrene ilişkin geleneksel fikirlerimizden çok büyük bir kopuşu temsil ederken, 1900 ve 1930 yılları arasında bir başka devrim de fiziğin altını üstüne getiriyordu. Bu devrim yirminci yüzyılın başında birini Max Planck'ın, diğerini Einstein'ın yazdığı ışınımın özelliklerine ilişkin iki makale ile başlamıştı. İşte bu makaleler yoğun araştırma ile geçen otuz yılın ardından ku antum mekaniğinin formülleştirilmesine yol açtı. Etkileri uç hız ve kütleçekimi değerlerinde belirgin hale gelen görelilikte olduğu gibi, kuantum mekaniğinin yeni fiziği de kendisini ancak bir başka uç durumda cömertçe ortaya koyuyordu: Çok çok küçük şeylerin dünyasında. Ama göreliliğin yol açtığı altüst oluşla kuantum mekaniğinin yol açtığı altüst oluş arasında keskin bir ayrım vardır. Göreliliğin garip olmasının nedeni, her birimizin kişisel uzay ve zaman deneyimlerinin başkalarının deneyimlerinden farklı olmasıdır. Bu, karşılaştırmadan doğan bir garipliktir. Gerçekliğe bakışımızın pek çok başka bakış açısından -aslında sonsuz sayıdaki bakış açısından yalnızca biri

olduğunu, tüm bu bakışların da uzay-zamanın kesintisiz bütününde birbirlerine uyduğunu kabul etmek zorunda kalırız.

Kuantum mekaniği farklıdır. Garipliği bir karşılaştırma yapmadan da ortadadır. Kuantum mekaniğine dair bir sezgiye sahip olmak için zihninizi eğitmeniz daha zordur, çünkü kuantum mekaniği kendi kişisel, bireysel gerçeklik kavramımızı paramparça eder.

Kuantuma Göre Dünya

Her çağ, evrenin nasıl oluştuğuna veya yapılandığına ilişkin kendi öykülerini yani metaforlarını geliştirir. Eski bir Hint yaratılış efsanesine göre evren, tanrılar Purusa adlı tarih öncesi devi parçaladıkları zaman yaratılmıştır; devin başı gökyüzü, ayakları yeryüzü, nefesi de rüzgâr olmuştur. Aristoteles'e göre evren eşmerkezli elli beş kristal küreden oluşmaktaydı; en dıştaki küre gökyüzünü temsil ediyor, gezegenleri, Dünyayı ve onun öğelerini, son olarak da cehennemi temsil eden yedi küreyi sarmalıyordu.Newton la ve onun hareketi matematiksel olarak kesin ve belirlenimci bir biçimde formüle etmesi sonucunda, tanım yeniden değişti. Evren çok büyük bir mekanik saate benzetildi: Zembereği kurulup başlangıç ayarı yapılmış olan evren, bir andan diğerine tam bir düzenlilik ve öngörülebirlikle tıkır tıkır ilerliyordu.

Özel ve genel görelilik, mekanik saat benzetmesinde zor kavranılır bazı noktalara dikkat çekti: Tek ve evrensel bir saat yoktur, bir dakikayı ve şimdiyi neyin oluşturduğu konusunda fikir birliği yoktur. Bu durumda bile hâlâ evrimleşen evren hakkında "bir mekanik saat" öyküsü anlatabilirsiniz. Saat sizin saatinizdir. Öykü sizin öykünüzdür. Ama evren, Newtoncu çerçevede olduğu gibi, gene aynı düzenlilik ve öngörülebilirlikle evrimleşir. Eğer bir şekilde, evrenin şu andaki durumunu biliyorsanız -yani her parçacığın nerede olduğunu, hangi hızla ve hangi doğrultuda hareket ettiğini biliyorsanız- o zaman, Newton da Einstein da prensipte fizik yasalarını kullanarak evrendeki her şeyin gelecekte herhangi bir zamanda nasıl olacağını öngörebileceğiniz ve geçmişte herhangi bir zamanda nasıl olduğunu anlayabileceğiniz üzerinde anlaşır.

Kuantum mekaniği bu gelenekten ayrılır. Tek bir parçacığın bile konumunu ve doğrusal hızını tam olarak asla bilemeyiz. Bırakın bütün kozmosun evrimini, deneylerin en basitinin bile sonucunu tam bir kesinlikle tahmin edemeyiz. Kuantum mekaniği, ancak bir deneyin şu veya bu sonucu verme olasılığım tahmin edebileceğimizi gösterir. Kuantum mekaniği on yıllar içinde son derece duyarlı deneylerle kanıtlandıkça, Newton'un kozmik saati hatta bu saatin Einstein tarafından güncelleştirilmiş hali bile sağlam bir benzetme

olmaktan çıkmıştır ve açık bir şekilde evrenin nasıl işlemediğini göstermektedir.

Ama gelenekten kopuş henüz tamamlanmamıştır. Her ne kadar Newton'un ve Einstein'ın kuramları uzayın ve zamanın doğası konularında birbirlerinden keskin bir şekilde farklı olsa da, bazı temel gerçeklerde ve kanıt gerektirmiyor gibi görünen bazı doğrularda fikir birliği içindedirler. Eğer iki cismin arasında uzay varsa -yani havada iki kuş varsa ve biri epey uzakta sağınızda, diğeri ise epey uzakta solunuzdaysa- bu iki şeyin birbirinden bağımsız olduğunu kabul edebiliriz ve ediyoruz. Bunları birbirlerinden ayrık, farklı varlıklar olarak ele alırız. Temelde ne olursa olsun uzay, bir cismi diğerinden ayıran, ayırt edilmesini mümkün kılan ortamı sağlar. Uzayın yaptığı budur. Uzayda farklı konumlarda olan şeyler, farklı şeylerdir. Dahası, bir cismin diğer bir cismi etkileyebilmesi için ikisini ayıran uzayı bir şekilde aşması gerekir. Bir kuş uçarak diğer kuşla arasındaki uzayı kat edip diğerini gagalayabilir. Bir kimse, kuşa sapanla bir taş atıp taşın kuşla arasındaki uzayı kat etmesini sağlayabilir ya da yüksek sesle bağırıp çarpışan hava moleküllerinin domino etkisiyle başka bir kişinin kulak zarını titreştirmesini sağlayabilir. Başka düzeyde bir örnek verecek olursak, bir kişi diğer bir kişinin üzerinde bir lazer demeti göndererek, yani aradaki uzayı bir elektromanyetik dalganın aşmasıyla, bir etki uygulayabilir ya da daha hırslı biriyse (geçen bölümdeki şakacı uzaylılar gibi) bir noktadan diğerine kütleçekimsel etkiler göndererek büyük kütleli bir cismi (örneğin Ay'ı) sallayabilir ya da yerini değiştirebilir. Yani buradan, olduğumuz yerden, oradaki birini etkileyebiliriz, ama bunu nasıl yaparsak yapalım daima bir kişinin veya bir şeyin buradan oraya gitmesi gerekir ve ancak o kişi veya şey buradan oraya gittiğinde bir etki uygulanabilir.

Fizikçiler evrenin bu özelliğine, yalnızca hemen yanınızdaki, yani yerel noktaları doğrudan etkileyebileceğinizi vurgulamak üzere yerellik adını verir. Ama örneğin vudu büyüleri, yerelliği aykırıdır, çünkü o durumda burada yaptığınız bir şeyle (buradan oraya herhangi bir şey göndermeden) oradaki bir şeyi etkileyebilirsiniz. Ama ortak deneyimlerimiz, bize doğrulanabilir ve tekrarlanabilir deneylerin yerelliğe uyacağını söyler. Ve çoğu da uyar.

Ama son yirmi yirmice yılda yapılan bazı deneyler, burada yaptığımız bir şeyin (bir parçacığın belli özelliklerini ölçmek gibi) buradan oraya bir şey göndermeksizin, orada olan bir şeyle (uzaktaki bir başka parçacığın özelliklerinin ölçülmesinin sonucu gibi) kolayca fark edilmeyecek bir biçimde bağlantılı olabileceğini göstermiştir. Sezgisel olarak şaşırtıcı olsa da, bu olgu kuantum mekaniği yasalarına tamamen uyar; bu deneyin yapılmasını sağlayacak teknolojinin ortaya çıkmasından ve daha da önemlisi yapılan öngörünün doğru olduğunun gözlenmesinden çok daha önce kuantum mekaniği kullanılarak öngörülmüştür. Bu, insana vudu büyüsü gibi geliyor.

Kuantum mekaniğinin böyle bir özelliği olabileceğini fark eden ilk fizikçilerden olan -ve bunu eleştiren- Einstein, buna "ürkütücü" demişti. Ama göreceğimiz gibi, bu deneylerin doğruladığı uzun mesafeli bağlantılar son derece zor fark edilebilir bağlantılardır ve bizim kontrol yeteneğimizin temelli dışındalardır.

Bununla birlikte, hem kuramsal hem de deneysel değerlendirmelerden elde edilen bu sonuçlar, evrenin yerel olmayan bağlantılara olanak verdiği fikrini kuvvetli bir biçimde desteklemektedir. Buradan oraya bir şey gitmese bile, hatta iki olay arasında ışık da dahil olmak üzere hiçbir şeyin gitmesi için yeterli zaman olmasa bile, burada olan bir şey orada olan bir şeyle bağlantılı olabilir. Bu, uzayın bir zamanlar düşünüldüğü gibi düşünülemeyeceğini gösteriyor: iki cisim arasında ne kadar uzay bulunursa bulunsun (yani iki cisim birbirinden ne kadar uzak olursa olsun), kuantum mekaniği ikisinin arasında bir etkileşme, bir çeşit bağ olmasını mümkün kıldığından, bu iki cismin birbirinden ayrık olduğunun garantisi yoktur. Örneğin sizi ve beni oluşturan sayısız parçacıktan biri kaçabilir, ama saklanamaz. Kuantum kuramına ve onun öngörülerini doğrulayan birçok deneye göre, iki parçacık arasında, evrenin iki ayrı ucunda olsalar bile, kuantum bağlantıları bulunabilir. Birbirlerinden trilyonlarca kilometre uzakta olsalar bile, aralarındaki bu bağ açısından üst üsteymiş gibidirler.

Gerçeklik kavramımıza modern fizikten çok sayıda saldırı geliyor; bunlardan çoğunu önümüzdeki bölümlerde göreceğiz. Ama deneysel olarak kanıtlanmış olanlar arasında benim neredeyse aklımı durduran, evrenimizin kendisinin yerel olmadığının anlaşılmasıdır.

Kırmızı ve Mavi

Kuantum mekaniğinden kaynaklanan yerel olmama durumunun ne tür bir şey olduğu konusunda fikir sahibi olmak için, Ajan Scully'nin çoktan hak ettiği tatili yapıp kafa dinlemek amacıyla ailesinin Provence'daki evine çekildiğini düşünün. Bavullarını açmaya bile zaman bulamadan telefon çalar. Ajan Mulder Amerika'dan aramaktadır.

"Kırmızı ve mavi paket kâğıtlarıyla sarılı kutuyu aldın mı?"

Posta kutusundan çıkan her şeyi kapının yanına yığmış olan Scully, yığına göz atar ve paketi görür. "Mulder, lütfen, onca yolu yeni dosyalarla uğraşmak için tepmedim."

"Hayır, hayır, paketi ben göndermedim. Bana da bir tane gelmiş. İçinde 1’den 1000'e kadar numaralanmış şu küçük, ışık geçirmeyen titanyum kutulardan var; sana da aynı paketin gönderildiğini bildiren bir de mektup var."

"Ee, ne olmuş?" diye yavaşça yanıtlar Scully. Titanyum kutuların tatilini yarıda kesmesine neden olacağından korkmaya başlamıştır.

"Şey" diye devam eder Mulder, "mektupta her titanyum kutuda uzaydan gelen bir küre olduğu ve bu kürenin kutunun üzerindeki küçük kapak açıldığı anda kırmızı ya da mavi bir ışık çıkaracağını yazıyor."

"Mulder, etkilenmemi mi bekliyorsun?"

"Henüz değil, ama dinle. Mektupta, bütün kutuların içindeki kürelerin kutular açılmadan önce kırmızı ya da mavi ışık verme yeteneğinin olduğu, kürelerin kırmızıya da mavi ışık vermeye kapak açıldığı anda rasgele karar verdiği yazıyor. Ama gariplik şurada. Mektupta bir de, her ne kadar sendeki kutular bendekilerle tam olarak aynı şekilde çalışıyorsa da -yani kutularımızın her birindeki küreler kırmızı ya da mavi ışık vermeyi rasgele seçiyor olsa bile- kutularımızın, bir şekilde birlikte çalıştığı yazılmış. Mektuba göre, arada gizemli bir bağlantı var; öyle ki, ben birinci kutumu açtığımda mavi ışık çıkarsa, sen birinci kutunu açtığında da mavi ışık çıkacak; eğer ikinci kutumu açtığımda ben kırmızı ışık görürsem, sen de ikinci kutunu açtığında kırmızı ışık göreceksin vb."

"Mulder, gerçekten çok yorgunum. Bu numaralar ben dönene kadar bekleyemez mi?"

"Scully, lütfen. Tatilde olduğunu biliyorum, ama bekleyemeyiz. Bunun doğru olup olmadığını beş dakikada anlayabiliriz."

Scully direnmenin boşuna olduğunu anlar ve isteksizce gidip küçük kutularını açar. Kutulardaki ışıkları karşılaştırdıklarında, mektupta sözü edilen uyumu görürler. Kutulardaki küreler mavi ya da kırmızı yanmaktadır, ama ikisi de üzerinde aynı numaranın olduğu kutuları açtıklarında hep aynı renk ışıkla karşılaşırlar. Uzaydan gelen bu küreler Mulder'ı heyecanlanmıştır, ama Scully hiç heyecanlanmaz.

"Mulder, asıl senin tatile ihtiyacın var. Bu çok saçma. Açıkça görülüyor ki, kutularımızdaki kürelerin hepsi, içlerinde bulundukları kutuların kapakları açıldığında kırmızı ışık vermek üzere ya da mavi ışık vermek üzere programlanmış. Bu saçmalığı bize gönderen her kimse, kutularımızı senin ve benim aynı numaralı kutuları açtığımızda aynı renkleri göreceğimiz şekilde programlamış." der, Scully sertçe.

"Ama mektupta her kürenin kırmızı veya mavi ışığı kutusunun kapağı açıldığında rasgele seçtiği yazıyor; kürelerin iki ışıktan birini seçmek üzere önceden programlandığı yazmıyor.

"Mulder," diye içini çeker Scully, "benim açıklamam akla yatkın ve verilere de uyuyor. Daha ne istiyorsun? Bir de mektubun sonuna bak. İşte bu çok komik. "Uzaylıların" zor okunsun diye iyice küçük harflerle yazdıkları bölümde, kürenin ışığının yanmasına sadece kutunun kapağını açmanın neden olmadığı, eğer nasıl çalıştığını anlamak için kutuyu kurcalarsak da -örneğin kutunun kapağını açmadan kürenin renk bileşimini veya kimyasal yapısını öğrenmeye çalışırsak- kürenin ışık vereceği yazılı. Başka bir deyişle, sözde rasgele kırmızıya da mavi ışık seçimini analiz etmeye çalışamayız, çünkü bu yapmaya çalıştığımız deneyi bozar. Bu benim aslında sarışın olduğumu, ama ne zaman sen ya da bir başkası saçlarıma baksa ya da herhangi bir şekilde saç-larımı analiz etmeye kalksa saçlarımın kızıla dönüştüğünü söylememe benziyor. Yalan söylediğimi nasıl kanıtlayabilirsin? Senin küçük, yeşil adamlar bayağı zekiymiş, her şeyi hileleri ortaya çıkmayacak şekilde ayarlamışlar. Şimdi sen gidip kutularınla oyna, ben de biraz kafamı dinleyeyim."

Scully her şeyi bilimsel olarak sağlam bir biçimde toparlamış gibi görünüyor. Ama bir de şu var: Kuantum mekaniği ile uğraşanlar -uzaylılar değil, bilim insanları- hemen hemen seksen yıldır evrenin, mektupta tanımlanan evrene nasıl bu kadar paralel bir şekilde işlediğine ilişkin iddialar ortaya atıyor. Sorun şurada ki, verilerin Mulder'inkine benzer bir bakış açısını -Scully'ninkine değil- desteklediği yolunda güçlü bilimsel kanıtlar var. Örneğin, kuantum mekaniğine göre bir parçacık, belirli bir özelliğe ya da diğerine sahip olma durumları arasında belirsizlikte kalabilir -içlerinde oldukları kutuların kapağı açılmadan önce kırmızı ya da mavi ışık verme olasılıkları arasında belirsizlikte olan "uzaydan gelmiş" küreler gibi- ve yalnızca ona bakıldığı zaman (yani ölçüldüğü zaman), rasgele bir şekilde belli bir özelliğe ya da diğerine sahip olabilir. Sanki bu yeterince acayip değilmiş gibi, kuantum mekaniği bir de parçacıklar arasında, tıpkı uzaydan gelmiş küreler arasında olduğu öne sürülen bağlantılara benzer bağlantılar olabileceğini öngörür. İki parçacık kuantum etkileri nedeniyle birbirlerine öyle

dolanabilirler ki, şu ya da bu özelliği rasgele seçmeleri bağıntılı olabilir: Yani nasıl küreler kırmızı ya da mavi ışık vermeyi rasgele seçiyorlarsa, ama aynı numaralı kutulardaki kürelerin verdiği ışıklar bir şekilde birbirleri ile bağlantılıysa (her ikisi de kırmızı ya da her ikisi de mavi), uzayda birbirlerinden çok uzak iki parçacığın rasgele seçtikleri özellikler de aynı şekilde birbirleri ile tamamen uyumlu olabilir. Kabaca söyleyecek olursak, iki parçacık birbirlerinden çok uzak olsa bile, kuantum mekaniği, bunlardan biri ne yaparsa diğerinin de aynı şeyi yapacağını gösteriyor.

Somut bir örnek verelim: Eğer gözünüzde güneş gözlüğü varsa, kuantum mekaniğine göre, örneğin denizden veya asfalt yoldan size doğru yansıyan belirli bir fotonun gözlüğünüzün parlamayı engelleyen, polarize camlarından geçme olasılığı % 50'dir. Foton cama çarptığı zaman ya geri yansımayı ya da gözlüğünüzün camından geçmeyi rasgele "seçer". Şaşırtıcı olan ise, böyle bir fotonun kilometrelerce uzakta, ters yönde hareket eden bir eş fotonu olabilecek olması ve başka bir polarize gözlük camından geçme olasılığı aynı şekilde % 50 olsa da, o fotonun da bir şekilde ilk foton ne yaparsa onu yapacak olmasıdır. Her sonuç rasgele belirtense de, fotonlar uzayda birbirlerinden çok uzakta olsa da, eğer bir foton camdan geçerse diğeri de geçecektir. Kuantum mekaniği tarafından öngörülen yerel olmama (dolanık ol-ma) durumu işte budur.

Hiçbir zaman kuantum mekaniğinin büyük bir hayranı olmayan Einstein, evrenin böyle acayip kurallara göre işliyor olmasını kabul edemiyordu. Parçacıkların özniteliklerini ve ölçüldükleri zaman ortaya çıkan sonuçları rasgele seçmeleri kavramını içermeyen, çok daha klasik açıklamaları destekliyordu. Einstein, eğer birbirinden çok uzaktaki iki parçacığın belirli bazı öznitelikleri paylaştığı gözleniyorsa, bunun o parçacıkların özelliklerini anında bağıntılandıran gizemli bir kuantum bağlantısının kanıtı olamayacağını öne sürüyordu. Tıpkı Scully'nin kürelerin renkleri rasgele seçmediğini, gözlendikleri zaman belirli renkte ışık vermek üzere programlanmış olduklarını iddia etmesi gibi, Einstein da parçacıkların özelliklerini rasgele seçmediğini, tersine uygun bir şekilde gözlendikleri zaman belirli ve kesin bir özellik sergilemek üzere benzer şekilde "programlanmış" olduklarını iddia ediyordu. Einstein'a göre, birbirinden çok uzaktaki, fotonların davranışlarının dolanık olması, fotonların salındıkları zaman benzer özelliklere sahip olduklarının kanıtıydı, aralarında uzun mesafeli, tuhaf bir kuantum ilişkisi olduğunun değil.

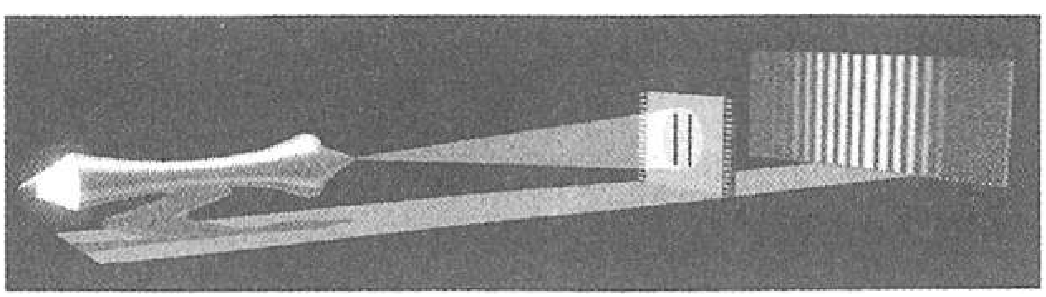
Kimin haklı olduğuna -Einstein'ın mı yoksa kuantum mekaniğini destekleyenlerin mi- elli yıla yakın bir süre boyunca karar verilemedi, çünkü göreceğimiz gibi tartışma Scully ve Mulder arasında yaşanan tartışmaya

benzemişti: Var olduğu öne sürülen, kuantum mekaniğine özgü, tuhaf bağlantıların olmadığını kanıtlamak ve bu arada da Einstein'ın klasik görüşüne hiç dokunmamak için yapılan her girişim, deneylerin kendilerinin ölçmeye çalışılan özellikleri kaçınılmaz olarak bozduğu iddiasıyla karşı karşıya kalıyordu. 1960'larda her şey değişti. İrlandalı fizikçi John Bell, mükemmel bir kavrayış sergileyerek bu konunun deneysel olarak bir çözüme kavuşturulabileceğini gösterdi ve 1980'lerde de bu gerçekleşti. Verilerin en basit yorumu, Einstein'ın hatalı olduğunu ve hemen buradaki şeylerle uzaktaki şeyler arasında acayip, tuhaf, "ürkütücü" kuantum dolanıklığı olabileceğini gösteriyordu.

Bu sonucun altında yatan mantığın anlaşılması o kadar zordur ki, fizikçilerin bunu tam olarak anlaması otuz yıldan fazla zaman almıştır. Ama kuantum mekaniğinin temel özelliklerini inceledikten sonra göreceğiz ki, tartışmanın özü aslında o kadar da karmaşık değildir.

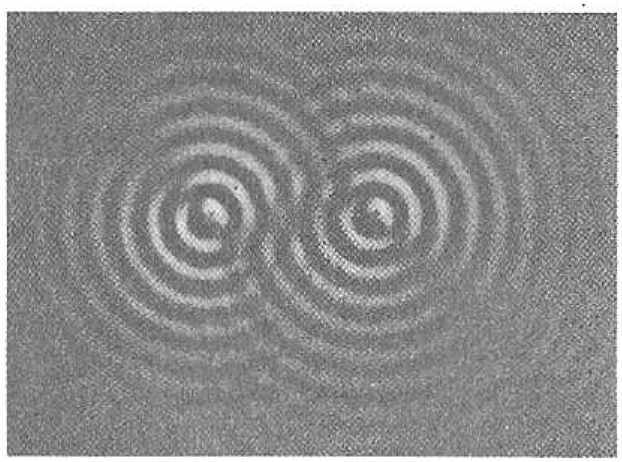
Bir Dalga Yaratmak

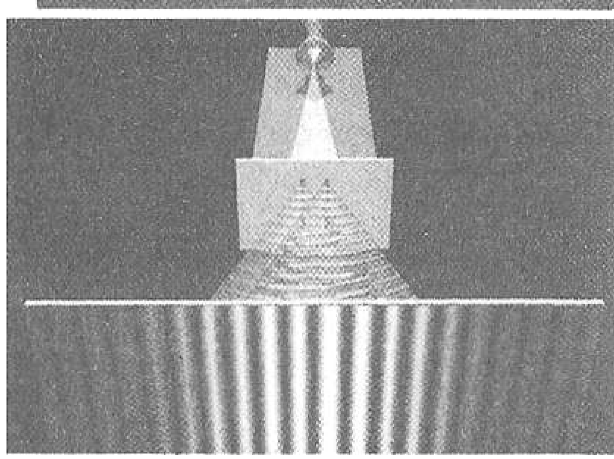
Yanmış bir 35 mm'lik film parçası üzerine birbirine çok yakın ve çok ince iki çizik atıp sonra film parçasına lazerli işaret kalemi tutarsanız, ışığın bir dalga olduğunun en doğrudan kanıtını görürsünüz. Eğer bunu hiç yapmadıysanız, denemeye değer (film yerine başka şeyler, örneğin üstten bastırmalı kahve servis aletlerinin içindeki ince tel süzgeç gibi şeyler de kullanabilirsiniz). Lazer ışığı filmin üzerindeki ince yarıklardan geçip arkada ekrana düştüğü zaman ortaya çıkan görüntüde (Şekil 4.1 'deki gibi) açık renkli ve koyu renkli şeritler olacaktır. Ekrandaki bu görüntü, dalgaların temel bir özelliğiyle açıklanır. Gözde canlandırılması en kolay dalgalar su dalgalan olduğu için, dalgalarla ilgili temel noktayı önce büyük, sakin bir göldeki dalgalarla açıklayalım, sonra da bunu ışığa uyarlayalım.



Şekil 4.1 Siyah bir Film üzerine kazınan iki ince çizgiden geçen lazer ışığı, ekranda ışığın dalga olduğunu gösteren girişim desenleri oluşturur.

Bir su dalgası, bazıları her zamankinden alçak, bazıları da her zamankinden yüksek bölgeler yaratarak sakin bir gölün yüzeyini bozar. Bir dalganın en yüksek kısmı tepe, en alçak kısmıysa çukur olarak adlandırılır. Dalga, periyodik bir ardışıklık gösterir: Tepeyi çukur izler, onu yeniden tepe izler ve bu böyle devam eder. Eğer iki dalga birbirine doğru gelirse -örneğin sakin bir gölde, birbirine yakın iki noktadan suya birer taş atarak birbirlerine doğru yayılan dalgalar yaratırsak- karşılaştıkları zaman Şekil 4.2a'da gösterilen ve girişim olarak bilinen önemli bir etki ortaya çıkar. Bir dalganın tepesiyle diğerinin tepesi kesiştiği zaman suyun yüksekliği artar, iki tepenin yüksekliğinin toplamı kadar olur. Benzer biçimde bir dalganın çukuru diğerinin çukuruyla kesiştiğinde, çukurun derinliği artar, iki çukurun derinliğinin toplamı kadar olur. En önemli birleşim ise şudur: Bir dalganın tepesi diğerinin çukuruyla karşılaştığında tepe suyu yukarıya, çukursa aşağıya çekmeye çalışacağı için, tepe ve çukur birbirini yok eder. Eğer dalgalardan birinin tepe yüksekliği, diğerinin çukur derinliğine eşitse, tepe ve çukur birbirini tam olarak yok edeceği için suyun o noktası tamamen düz kalır.

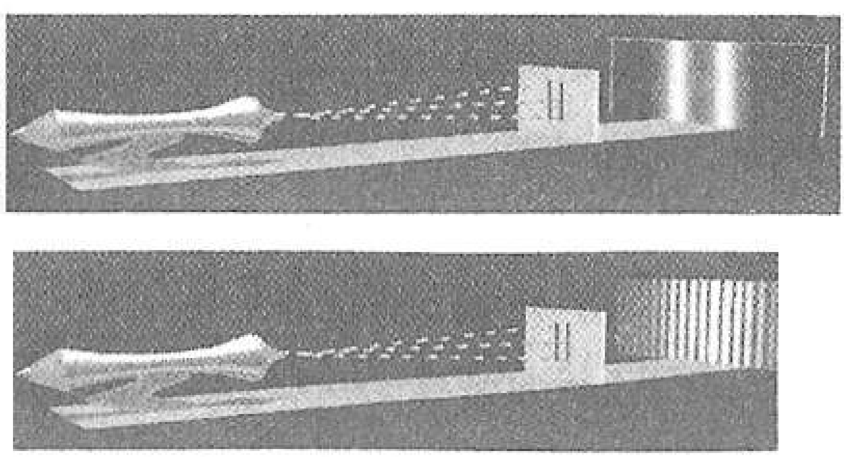




Şekil 4.2 (a) Üst üste binen su dalgalan bir girişim deseni oluşturur, (b) Üst üste binen ışık dalgalan bir girişim deseni oluşturur.

Aynı ilke, iki ince yarıktan geçtikten sonra ışığın ortaya çıkardığı, Şekil 4.1'de görülen deseni de açıklar. Işık bir elektromanyetik dalgadır; iki yarıktan geçerken ekrana doğru ilerleyen iki dalgaya ayrılır. Yukarıda tanımlanan su dalgaları gibi bu iki ışık dalgası da birbirleriyle girişir. Ekranda çeşitli noktalara çarptıklarında bazen iki dalga da tepe noktasında olur. Ve ekranı aydınlatır, bazen de iki dalga da çukur noktasında olur ve ekranı gene aydınlatır, ama bazen bir dalganın tepesi diğerinin çukuruyla karşılaşır ve birbirlerini yok eder, böylece ekranın o noktası karanlık kalır. Bu durum Şekil 4.2b'de görülüyor.

Dalga hareketinin matematiksel ayrıntıları çözümlendiğinde (dalgaların tepeleri ve çukurları arasındaki çeşitli aşamalarda gerçekleşen kısmi yok etme durumları da dahil), Şekil 4.1'deki şeritleri, karanlık ve aydınlık noktaların doldurduğu, gösterilebilir. Karanlık ve aydınlık şeritler ışığın bir dalga olduğunun açık bir kanıtıdır. Bu konu, Newton'un ışığın bir dalga olmadığını, akan parçacıklardan oluştuğunu öne sürmesinden bu yana (bu konuya birazdan geleceğiz) yoğun olarak tartışılmaktadır. Üstelik, bu çözümleme bütün dalga türleri için (ışık dalgası, su dalgası, ses dalgası, ne isterseniz) aynen geçerlidir ve dolayısıyla girişim desenleri, bir benzetme yapacak olursak hâlâ dumanı tütmekte olan bir tabancaya benzetilebilir: Yani uygun büyüklükte -ki bu büyüklük gelen dalganın tepesiyle çukuru arasındaki mesafe tarafından belirlenir- iki yarıktan geçirildikten sonra Şekil 4.1'dekine benzeyen bir ışık güç deseni (aydınlık bölgeler yüksek ışık şiddetini, karanlık bölgelerse düşük ışık şiddetini gösterir) ortaya çıkaran şey mutlaka dalgadır.



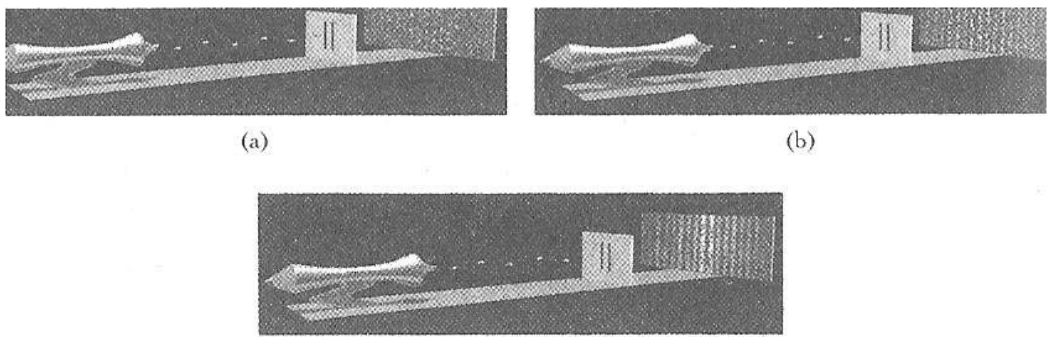
Şekil 4.3 (a) Klasik fizik, üzerinde iki yarık bulunan bir engele gönderilen elektronların ekranda aydınlık iki şerit oluşturacağını öngörür, (b) Kuantum mekaniği ise elektronların bir girişim deseni

oluşturacağını öngörür; bu da elektronların dalga benzeri özellikler taşıdığını gösterir. Deneyler de bunu doğrulamaktadır.

1927'de Clinton Davisson ve Lester Germer bir nikel kristali parçasına bir elektron demeti (görünürde dalgalarla hiç ilişkisi olmayan parçacıklar) gönderdiler. Deneyin ayrıntıları bizi ilgilendirmiyor, ama şu ilgilendiriyor: Bu deney, üzerinde iki yarık bulunan bir engele elektron gönderilmesiyle eşdeğerdir. Deneyciler elektronların yarıklardan geçtikten sonra fosforla kaplı bir ekrana düşmesini sağladılar. Ekrana çarpan elektronlar ekranda küçük birer ışık çakımı olarak iz bırakacaktı (bu ışık çakımları televizyonunuzun ekranındaki görüntüleri oluşturan ışık çakımlarıyla aynıdır). Sonuç, şaşırtıcıydı. Elektronları küçük mermilere benzetirsek, ekrana çarptıkları noktaların konumlarının Şekil 4.3a'da olduğu gibi, iki yarıkla hizalı olması beklenir. Ama Davisson ve Germer'in bulduğu bu değildi. Deneyleri Şekil 4.3b'de şematik olarak gösterilen sonucu vermişti: Elektronların ekrana çarptıkları noktalar, dalgalara özgü girişim desenleri yaratıyordu. Davisson ve Germer hâlâ dumanı tütmekte olan tabancayı bulmuşlardı. Parçacık özelliğine sahip elektronların bir tür dalga olarak davranması gerektiğini göstermişlerdi, bu da beklenmedik bir şeydi.

Siz bunu pek de şaşırtıcı bulmayabilirsiniz. Su H_20 moleküllerinden oluşmuştur ve birçok molekül düzenli bir biçimde hareket ettiği zaman bir su dalgası ortaya çıkar. Belli bir konumdaki bir grup H_20 molekülü yükselirken yakınlarda bir başka konumdaki bir grup H_20 molekülü alçalır. Şekil 4.3'te gösterilen veriler, elektronların da bazen H20 molekülleri gibi birlikle hareket ettiğini ve toplam, makroskopik hareketlerinin dalgaya benzeyen bir desen ortaya çıkardığını gösteriyor olabilir. İlk bakışta bu akla yakın bir öneri gibi gelse de, asıl öykü çok daha beklenmedik şeyler anlatır. Başlangıçta Şekil 4.3'teki elektron tabancasının kesintisiz olarak elektron gönderdiğini düşünmüştük. Ama tabancayı her geçen saniye giderek azalan sayıda elektron gönderecek şekilde ayarlayabiliriz; hatta her 10 saniyede 1 elektron gönderecek şekilde ayarlayabiliriz. Sabırlı davranırsak, bu deneyi uzun bir zamana yayabilir ve yarıklardan geçen her elektronun ekrana hangi noktada çarptığını kaydedebiliriz. Şekil 4.4 (a), Şekil 4.4 (b) ve Şekil 4.4 (c) bir saat sonra, yarım gün sonra ve bir gün sonra biriken verileri gösteriyor. 1920'lerde böyle görüntüler fiziği temellerinden sarsmıştı. Parçacık karakterli elektronların, ekrana birbirlerinden bağımsız, ayrı ayrı, tek tek gönderildiklerinde bile dalgalara özgü girişim desenini oluşturduklarını görüyoruz. Bu sanki tek bir H20 molekülünün, bir su dalgasına benzer bir şey içermesi gibidir. Ama bu nasıl olabilir ki? Dalga hareketi, tek tek, ayrı bileşenlerine indirgendiği zaman bir anlamı olmayan toplu, ortak bir özelliktir. Eğer tribündeki seyirciler birkaç dakikada bir ayrı ayrı ayağa

kalkıp yeniden otursa o dalga hareketi oluşmaz. Dahası, dalga girişim deseni oluşması için buradan çıkan bir dalganın oradan gelen bir dalga ile kesişmesi gerekir. Öyleyse tek tek, ayrı ayrı, parçacık yapısında bileşenlerin girişimle nasıl bir ilgisi olabilir ki? Ama işte Şekil 4.4'teki verilerin de gösterdiği gibi, çok küçük madde parçacıkları olan tek tek elektronların her biri dalga benzeri bir özelliğe de sahiptir.



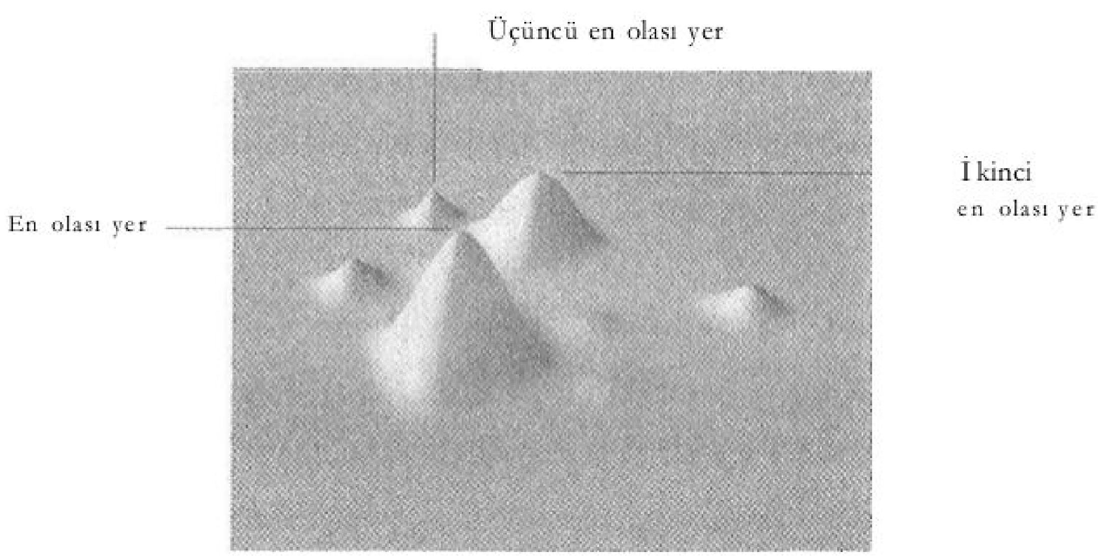
Şekil 4.4. Yarıklara doğru gönderilen elektronlar nokta nokta bir girişim deseni oluşturur. (a)-(c)'de zamanla oluşan desenler gösterilmiştir.

Olasılık ve Fizik Yasaları

Eğer tek bir elektron aynı zamanda dalga ise, o zaman dalgalanan nedir? İlk tahmini Erwin Schreiner yaptı: Belki de elektronları oluşturan madde uzayda dağılmaktadır, dalgalanan da işte bu dağılıp yayılmış elektron özüdür. Bu bakış açısına göre, demek ki bir elektron parçacığı elektron sisinde keskin bir çıkıntıdır. Ama bu önerinin doğru olamayacağı hemen anlaşıldı, çünkü çıkıntılı bir dalga bile -örneğin dev bir gelgit dalgası eninde sonunda yayılır. Eğer çıkıntılı bir elektron dalgası yayılacak olsaydı, tek bir elektronun elektrik yükünün bir bölümü burada, kütlesinin bir bölümü ötede olurdu. Ama öyle olmuyor. Bir elektronun yerini saptadığımızda, daima tüm kütlesi ve tüm elektrik yükü de orada, küçücük, nokta benzeri bir bölgede yoğunlaşmış oluyor. 1927'de Max Born farklı bir öneride bulundu. İleride bu önerinin, fiziği yepyeni bir alana girmeye zorlayan, belirleyici bir adım olduğu anlaşılacaktı. Bohr, dalganın ne yayılmış elektron ne de bilimde daha önce karşılaşılmış bir şey olduğunu öne sürdü. Ona göre, dalga bir olasılık dalgası idi.

Bunun ne anlama geldiğini anlayabilmek için, bir su dalgasının yüksek genlikli bölgelerini (tepelerin ve çukurların yakınlarındaki bölgeler) ve düşük genlikli bölgelerini (tepeler ve çukurların arasındaki, daha düz geçiş bölgeleri)

gösteren bir fotoğraf düşünün. Genlik büyüdükçe su dalgasının yakındaki gemiler ve kıyıdaki yapılar üzerine kuvvet uygulama potansiyeli de o kadar büyür. Born'un öngördüğü olasılık dalgalarının da yüksek ve düşük genlikli bölgeleri vardı, ama onun bu dalga şekillerine yüklediği anlam çok beklenmedik bir anlamdı: Uzayda, belirli bir yerdeki bir dalganın büyüklüğü, elektronun uzayda o noktada bulunma olasılığıyla orantılıdır. Olasılık dalgasının büyük olduğu yerler, elektronun bulunma olasılığının en yüksek olduğu yerlerdir. Olasılık dalgasının küçük olduğu yerler, elektronun bulunma olasılığının düşük olduğu yerlerdir. Olasılık dalgasının sıfır olduğu yerler ise elektronun bulunamayacağı yerlerdir.



Şekil 4.5. Bir parçacığın, örneğin bir elektronun olasılık dalgası bize o parçacığı bir yerde bulma olasılığını gösterir

Şekil 4.5'te Born'un olasılıkçı yaklaşımını vurgulayan bir olasılık dalgasının "fotoğrafı" görülüyor. Su dalgalarının fotoğrafının tersine, şekildeki görüntü gerçekte bir fotoğraf makinesiyle çekilmiş olamaz. Hiç kimse bir olasılık dalgasını doğrudan görmemiştir, kuantum mekaniğinin mantığı hiç kimsenin de göremeyeceğini söyler. Bunun yerine, bir olasılık dalgasının verili bir durumda nasıl olması gerektiğini görmek için (Schrödinger, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Paul Dirac ve başkaları tarafından geliştirmiş) matematiksel denklemler kullanırız. Daha sonra bu kuramsal hesaplamaları deneysel sonuçlarla karşılaştırıp sınarız. Şöyle: Bir elektronun verili bir deney düzeneğindeki varsayılan olasılık dalgasını hesapladıktan sonra, deneyi sıfırdan başlayarak tekrar tekrar yapar ve her seferinde elektronun hesaplanan

konumunu kaydederiz. Newton 'un böyle bir durumda bekleyeceğinin aksine, birbirinin eşi deneyler ve başlangıç koşulları mutlaka aynı ölçümlerle sonuçlanmaz. Yaptığımız ölçümler farklı konumlar belirtir. Elektronu bazen burada, bazen biraz ötede, bazen de iyice ötede buluruz. Eğer kuantum mekaniği doğru ise, elektronu verili bir noktada kaç kere bulduysak, işte o sayı hesapladığımız olasılık dalgasının o noktadaki büyüklüğü ile orantılıdır (aslında bu büyüklüğün karesidir). Seksen yıldır yapılan deneyler, kuantum mekaniğinin tahminlerinin hesaplamalarını şaşırtıcı bir doğrulukla onaylamaktadır.

Şekil 4.5’te elektronun olasılık dalgasının yalnızca bir bölümü gösterilmektedir; kuantum mekaniğine göre, her bir olasılık dalgası, uzayın her tarafına, evrenin tümüne yayılır. Ama pek çok koşulda, bir parçacığın olasılık dalgası, küçük bir bölgenin dışında çabucak sıfıra yakın bir değere düşer; bu da o parçacığın çok ama çok büyük bir olasılıkla işte o küçük bölgede olduğunu gösterir. Böylesi durumlarda olasılık dalgasının Şekil 4.5'te gös-terilmeyen bölümü (evrenin geri kalanına yayılan bölümü) şeklin kenarlarına çok benzer: Düz ve sıfıra yakın değerde. Bununla birlikte, Anromeda galaksisinin herhangi bir yerindeki bir olasılık dalgasının değeri sıfırdan farklı olduğu sürece, elektronun orada olma olasılığı ne kadar küçük olsa da gerçektir (yani sıfırdan farklıdır).

Böylece, kuantum mekaniğinin başarısı bizi elektronun (yani maddenin çok küçük bir parçası olduğunu, normalde uzayda çok küçük, nokta benzeri bir bölgeyi kapladığını düşündüğümüz elektronun) bütün evrene yayılan bir dalgayı içeren bir betimlemesinin de olduğunu kabul etmeye zorlar. Dahası, kuantum mekaniğine göre bu parçacık-dalga birleşmesi yalnızca elektron için değil doğanın tüm bileşenleri için geçerlidir: Protonlar da hem parçacığa hem dalgaya benzer, nötronlar da hem parçacığa, hem dalgaya benzer. 1900'lerin başında yapılan deneyler, Şekil 4.1'de dalga gibi davrandığı görülen ışığın bile parçacıkla, daha önce sözünü ettiğimiz, foton adı verilen "ışık paketçikleriyle" tanımlanabildiğim ortaya koymuştur.' Örneğin, yüz vatlık bir elektrik ampulünden yayılan elektromanyetik dalgalar da ampulün saniyede yüz milyar kere milyar foton yayması şeklinde de tanımlanabilir. Kuantum dünyasında her şeyin hem parçacık hem de dalga özniteliğine sahip olduğunu öğrendik.

Geçtiğimiz seksen yıl süresince, kuantum mekaniğine özgü olasılık dalgalarının deney sonuçlarının öngörülmesinde ve açıklanmasında her zaman işe yaradığı her türlü kuşkunun ötesinde kabul görmüştür. Ama hâlâ kuantum mekaniğine özgü olasılık dalgalarının aslında ne olduklarını gözümüzde canlandırmamızı sağlayacak, üzerinde fikir birliğine varılmış evrensel bir fikir yoktur. Elektronun olasılık dalgasının elektronun kendisi mi olduğunu yoksa

elektronla ilişkili bir şey mi olduğunu yoksa elektronun hareketini tanımlamak için kullanılan matematiksel bir araç mı olduğunu yoksa elektron hakkında bilebildiğimiz her şeyin somut halimi olduğunu söylememiz gerektiği hâlâ tartışma konusudur. Açıkça bilinen şey var ki, o da şu: Kuantum mekaniği bu dalgalar yoluyla fizik yasalarına, hiç kimsenin beklemediği bir biçimde, olasılık kavramını sokmaktadır. Meteorologlar yağış tahmini yaparken olasılık kavramını kullanır. Kumarhaneler müşterilerin zarda bir bir atma ihtimalini tahmin etmek için olasılık hesaplarını kullanır. Ama bu örneklerde olasılığın oynadığı rol, elimizde kesin öngörülerde bulunmaya yetecek kadar bilgi olmamasından kaynaklanıyor. Newton'a göre, eğer çevrenin durumunu (onu oluşturan parçacıkların her birinin konumunu ve hızını) tüm ayrıntılarıyla bilseydik, o zaman (eğer yeterince hesap becerimiz varsa) yarın öğleden sonra 4:07'de yağmur yağıp yağmayacağını öngörebilirdik; zar oyunu ile ilgili bütün fiziksel ayrıntıları (zarların tam şeklini ve neden yapıldığını, elinizden çıktıkları andaki yönelimlerini ve hızlarını, masanın ve yüzeyinin neden yapıldığını vb.) bilseydik, zarın kaç kaç geleceğini tam olarak hesaplayabilirdik. Pratikte bütün bu bilgiyi bir araya getiremediğimiz için (eğer bir araya getirebilsek bile, henüz bu tip öngörülerde bulunmamızı sağlayacak hesaplamaları yapacak kadar güçlü bilgisayarlarımız olmadığı için) daha azıyla yetiniyor ve sahip olmadığımız verilerle ilgili akılcı tahminler yaparak, sadece havanın yağmurlu olması veya zarların bir bir gelmesi olasılığını öngörüyoruz.

Kuantum mekaniğinde tanımlanan olasılık kavramının ise daha farklı, daha temel bir karakteri var. Kuantum mekaniğine göre yapabileceğimiz tek şey, veri toplama yöntemlerindeki veya bilgisayarların gücündeki ilerlemelerden bağımsız olarak, şu veya bu sonucun ortaya çıkma olasılığını hesaplamak. Yapabileceğimiz tek şey bir elektronun, protonun, nötronun veya doğadaki bileşenlerden herhangi birinin burada veya şurada olma olasılığını öngörmek. Yani mikro düzeydeki evrenin egemen gücü olasılıktır. Örneğin kuantum mekaniğinin, elektronların Şekil 4.4'te ki aydınlık ve karanlık şeritleri birer birer, zamanla nasıl oluşturduğuna ilişkin açıklaması artık açıkça anlaşılmıştır. Her bir elektron kendi olasılık dalgasıyla tanımlanır. Elektron yarıklara doğru gönderildiğinde olasılık dalgası iki yarıktan birden geçer. Tıpkı ışık dalgalarında ve su dalgalarında olduğu gibi, yarıklardan geçen olasılık dalgaları da birbirleri ile etkileşir. Ekranın bazı noktalarında iki olasılık dalgası birbirini desteklediği için oluşan genlik büyük olur. Başka noktalarda dalgalar birbirlerini kısmen yok ettiği için genlik küçük olur. Başka bazı noktalarda ise, olasılık dalgalarının tepeleri ve çukurları birbirlerini tümüyle yok ettiği için, dalga genliği tam olarak sıfır olur. Yani ekranda elektronların çarpma olasılığının çok yüksek olduğu noktalar, bu olasılığın daha az olduğu ve hiç olmadığı noktalar vardır. Zaman içinde elektronun çarpma noktaları bu olasılık

profiline göre dağılır, bu nedenle de ekranda parlak, daha az parlak ve tamamen karanlık bölgeler ortaya çıkar. Ayrıntılı çözümlemeler, bu aydınlık ve karanlık bölgelerin aynen Şekil 4.4'teki gibi görüneceğini gösteriyor.

Einstein ve Kuantum Mekaniği

Kuantum mekaniği içkin olasılıkçı doğası nedeniyle, kendinden önce gelen temel evren tanımlamalarının hepsinden hem nitelik hem de nicelik olarak kesin olarak farklıdır. Geçen yüzyıldaki başlangıcından itibaren fizikçiler bu tuhaf ve alışılmadık yapıyı, herkesin bildiği dünya görüşü ile bağdaştırmaya çalıştı, hâlâ da çalışıyorlar. Sorun, günlük hayatın makroskopik deneyimlerini kuantum mekaniğinin ortaya koyduğu mikro gerçeklikle uzlaştırmakta. Ekonomik ve politik kazaların kaprislerine maruz kalsa da en azından fiziksel özellikleri göz önüne alındığında dengeli ve güvenilir görünen bir dünyada yaşamaya alışığız. Şu anda solumakta olduğunuz havayı oluşturan atomların birden dağılarak kuantum dalgası özellikleri sayesinde Ay'ın karanlık yüzünde tekrar ortaya çıkıp sizi havasız bırakacağından endişe etmezsiniz. Çok da haklısınız, çünkü kuantum mekaniğine göre bunun olma olasılığı sıfır değilse de çok ama çok düşüktür. Ama bu olasılığı bu kadar düşük yapan nedir?

Bunun iki ana nedeni vardır. Birincisi, atom ölçeğinde Ay olağanüstü derecede uzaktır. Söz ettiğimiz gibi, pek çok koşulda (ama her koşulda değil) kuantum denklemleri bir olasılık dalgasının uzayın küçük bir bölgesinde dikkate alınabilir bir değeri varken, o bölgeden uzaklaşıldıkça bu değerin hızla neredeyse sıfıra düştüğünü gösteriyor (Şekil 4.5'te olduğu gibi). Bu nedenle, sizinle aynı odada olmasını umduğunuz tek bir elektronun bile -örneğin şu anda verdiğiniz soluğun içindeki bir elektronun bir iki dakika sonra Ay'ın karanlık yüzünde olma olasılığı sıfır değilse bile son derece küçüktür. O kadar küçüktür ki, Nicole Kidman veya Antonio Banderas'la evlenme olasılığınız bile bunun yanında çok büyük kalır. İkincisi, odanızdaki havayı oluşturan çok sayıda elektron, proton ve nötron vardır. Bu parçacıkların hepsinin, tek bir parçacık için bile çok olası olmayan bir şeyi yapma olasılığı o kadar düşüktür ki üzerinde bir an bile düşünmeye değmez. Bu olasılık ancak hayranı olduğunuz film yıldızıyla evlenmekle kalmayıp bir de uzun bir süre boyunca (örneğin, evrenin şu anki yaşının yanında kozmik bir göz kırpma süresine eşit olacağı kadar bir süre) her ay piyangoda en büyük ikramiyeyi kazanma olasılığı ile karşılaştırılabilir.

Bunlar günlük hayatta kuantum mekaniğinin olasılıkçı yönüyle neden doğrudan karşılaşmadığımız konusunda size bir fikir verir. Bununla birlikte, deneyler kuantum mekaniğinin temel fiziği tanımladığını kanıtladığı için,

kuantum mekaniği gerçekliğin ne olduğu konusundaki temel düşüncelerimize açık bir saldırıdır. Özellikle Einstein, kuantum kuramının olasılıkçı özelliğinden son derece rahatsızdı. Hep vurguladığı gibi fizik, çevremizdeki dünyada geçmişte ne olup bittiğini, şimdi ne olmakta olduğunu ve gelecekte ne olacağım kuşkuya yer bırakmayacak şekilde belirlemekle uğraşır. Fizikçiler bahisçi olmadığı gibi, fizik de olasılık hesaplama işi değildir. Ama Einstein kuantum mekaniğinin, her ne kadar istatistiksel bir çerçeve içinde de olsa, mikro dünyadaki deneysel gözlemleri öngörmekte ve açıklamaktaki olağanüstü başarısını inkâr edemiyordu. Bu yüzden Einstein, elde ettiği benzersiz başarılar göz önüne alındığında akıntıya karşı kürek çekmeye benzeyeceğinden kuantum mekaniğinin yanlış olduğunu göstermeye çalışmak yerine, kuantum mekaniğinin evrenin işleyişi konusunda son söz olmadığını göstermeye çalıştı. Her ne kadar ne olduğunu tam olarak söyleyemese de, herkesi evrenin henüz bulunamamış, daha derin ve bu kadar tuhaf olmayan bir betimlemesi olduğuna ikna etmek istedi.

Yıllar içinde Einstein, kuantum mekaniğinin yapısındaki boşlukları ortaya çıkarmayı amaçlayan, giderek karmaşıklaşan pek çok fikir ortaya attı. Solvay Enstitüsü'nün 1927'deki Beşinci Fizik Konferansı'nda sunduğu bu fikirlerden biri, her ne kadar bir elektronun olasılık dalgası Şekil 4.5'tekine benzese de, yerini hesapladığımız zaman elektronun mutlaka belli bir yerde olduğunu bulmamıza ilişkindir. Einstein şunu soruyordu: Bu durum, bir elektronun konumunu saptayabilecek daha kesin bir betimleme bulunana kadar, olasılık dalgasının sadece geçici bir şey olduğunu göstermez mi? Ne de olsa eğer elektron X'te bulunduysa, gerçekte ölçümün yapılmasından bir an önce de tam X'te veya ona çok yakın bir yerde olmuş olması gerekmez mi? Eğer öyleyse, Einstein sorgulamaya devam ediyordu, kuantum mekaniğinin olasılık dalgasına -bu örnekte, elektronun X'ten uzakta bulunması olasılığının olduğunu söyleyen dalga dayanıyor olması, kuramın altta yatan gerçekliği tanımlamaktaki yetersizliğini göstermez mi?

Einstein'ın bakış açısı basit ve ikna ediciydi. Bir parçacığın şu anda, bir an sonra bulunacağı yerde ya da hiç değilse yakınlarında olmasını beklemekten daha doğal ne olabilirdi. Eğer durum buysa, fiziği daha derinlemesine kavrayan bir bakış işte bu bilgiyi sağlamalı ve daha olasılıklardan oluşan "kaba" çerçeveden kurtulmalıydı. Ama Danimarkalı fizikçi Niels Bohr ve kuantum mekaniğini savunan arkadaşları aynı fikirde değildi. Bu mantıcın köklerinin, elektronun ileri geri hareket ederken tek ve belirli bir yol izlediğini savunan geleneksel düşünce biçiminde yattığını öne sürüyorlardı. Ama Şekil 4.4 bu düşünceye açıkça meydan okuyordu. Eğer her elektron tek ve belirli bir yol izliyorsa -bir tabancanın namlusundan çıkan mermiler gibi- gözlenen girişim desenlerini açıklamak son derece zor olurdu: Ne, neyle girişiyordu? Tek

bir tabancadan sırayla atılan normal mermiler elbette birbirleriyle etkileşmez; eğer elektronlar da mermiler gibi hareket ediyorsa Şekil 4.4'teki deseni nasıl açıklayacaktık?

Bohr'a ve başını çektiği Kopenhag ekolünün kuantum mekaniğine göre, bir elektronun konumu ölçmeden önce, nerede olduğunu sormanın bile bir anlamı yoktur. Elektronun belirli bir konumu yoktur. Olasılık dalgası, elektronun uygun bir şekilde incelendiğinde, burada veya şurada olma olasılığını şifreler; bir elektronun konumu konusunda söylenebilecekler gerçekten bundan ibarettir. Nokta. Elektronun, ancak ona "bakıp "yani konumunu ölçüp yerini kesinlikle belirlediğimiz anda bildiğimiz, sezgisel anlamda bir yeri vardır. Ama bundan önce (ve sonra) var olan tek şey, diğer tüm dalgalar gibi girişime uğrayan bir olasılık dalgasıyla tanımlanan potansiyel konumlardır. Sanki elektronun bir konumu var da biz ölçüm yapmadan önce bu konumu bilmiyoruz gibi de değil. Beklenenin tersine, ölçüm yapılmadan önce elektronun belirli bir konumu yoktur.

Bu baştan çok tuhaf bir gerçekliktir. Çünkü bu bakış açısına göre, elektronun konumunu ölçtüğümüz zaman gerçekliğin nesnel, önceden var olan bir özelliğini ölçmüyoruz. Ölçme işi, ölçtüğü gerçekliğin oluşmasıyla tamamen iç içe. Bu konuyu elektron düzeyinden günlük hayat düzeyine çıkararak ele alan Einstein şu espriyi yapıyordu: "Gerçekten bakmadığımız sürece Ay'ın orada olmadığını mı düşünüyorsunuz?" Kuantum mekaniği taraftarları da şöyle cevap veriyordu: Eğer kimse Ay'a bakmıyorsa -yani kimse "Ay'ı görerek konumunu ölçmüyorsa"- Ay'ın orada olup olmadığını bilmemizin bir yolu yoktur, dolayısıyla bu soruyu sormak da anlamsızdır. Einstein bu cevabı kesinlikle tatmin edici bulmuyordu. Bu, onun gerçeklik kavramıyla tam bir uz-laşmazlık içindeydi; Einstein bakan olsa da olmasa da Ay'ın kesinlikle orada olduğunu düşünüyordu. Ama kuantum taraftarları ikna olmuyordu. Einstein'in 1930'daki Solvay konferansında ileri sürdüğü ikinci fikir, birinciye bağlıydı. Einstein varsayımsal bir aygıt tanımlıyordu. Zekice bir araya getirilmiş bir tartı, bir saat ve fotoğraf makinelerindekine benzeyen bir örtücüden oluşan bu aygıt, - kuantum mekaniği aksini söylese de bir parçacığın örneğin bir elektronun -ölçülmeden ve bakılmadan önce- belirli bazı özelliklere sahip olması gerektiğini ortaya koyuyor gibi görünüyordu. Konunun ayrıntıları önemli değil, ama sonuca bağlanma biçimi çok ilginç. Bohr, Einstein'ın bu fikrini ilk duyduğunda önce şaşırdı, çünkü Einstein'ın fikirlerinde bir hata göremiyordu. Ama birkaç gün sonra Einstein'ın iddialarını temelden çürüttü, işte ilginç olan da, Bohr'un bulduğu cevabın çıkış noktasının genel görelilik olmasıydı! Bohr, Einstein'ın kendi keşfi olan kütleçekiminin zamanı yamulttuğu -saatlerin, etkilendikleri kütleçekimine göre hızlı veya yavaş işlediği- gerçeğini hesaba katmadığını fark etmişti. Bu durum da

düşünüldüğünde, Einstein elde ettiği sonuçların kuantum kuramıyla tamamen örtüştüğünü kabul etmek zorunda kaldı.

İtirazları çürütülmüş olsa bile Einstein kendini kuantum mekaniği konusunda hep son derece rahatsız hissetti, izleyen yıllarda birbiri ardına yeni fikirler ileri sürerek Bohr ve çalışma arkadaşlarını diken üstünde tuttu. En güçlü ve etkili saldırısı, kuantum mekaniğinin doğrudan bir sonucu olan ve 1927'de Werner Heisenberg'in açıkladığı belirsizlik ilkesi olarak bilinen şey üzerine odaklanmıştı.

Heisenberg ve Belirsizlik

Belirsizlik ilkesi, olasılığın kuantum evreninin dokusunun içine nasıl derin bir biçimde işlemiş olduğunun nicel ve kesin bir ölçüsünü verir. Bunu anlayabilmek için, bazı Çin lokantalarındaki menüleri düşünün. Yemekler A ve B sütunları olarak sıralanmıştır; örneğin A sütunundaki ilk yemeği ısmarlamışsanız, B sütunundaki ilk yemeği ısmarlayamazsınız, A sütunundaki ikinci yemeği ısmarlamışsanız, B sütunundaki ikinci yemeği ısmarlayamazsınız ve bu kural listenin sonuna kadar böyle devam eder. Böylece lokanta, yemekle ilgili bir ikilik (düalizm), bir tamamlayıcılık (en pahalı ana yemeklerin birkaçını birden ısmarlamanıza engel olmak için) kurmuştur. Örneğin bu menüden Pekin ördeği ya da Kanton ıstakozu seçebilirsiniz, ama ikisini birden seçemezsiniz.

Heisenberg'in belirsizlik ilkesi de buna benzer. Kabaca, mikro dünyadaki fiziksel özellikler (parçacık konumları, hızlar, enerjiler, açısal momentumlar vb.) A ve B olarak iki listeye ayrılabilir, der. Heisenberg, A listesindeki ilk özelliğe ait bütün bilgiye sahipseniz, B listesindeki ilk özelliğe ait bilgiye ulaşamayacağınızı keşfetmiştir. Aynı şekilde, A listesindeki ikinci özelliğe ait bilgi, B listesindeki ikinci özelliğe ait bilgiye ulaşmanızı engeller, listenin sonuna kadar bu böyle devam eder. Tıpkı hem biraz Pekin ördeğinden hem de biraz Kanton ıstakozundan oluşan bir ana yemek sipariş edebilmeniz, ama bu iki yemeğin tabaktaki oranına göre belirlenen toplam fiyatın tek bir ana yemek fiyatını aşmaması gibi, listelerden birindeki bir özellik hakkındaki bilginiz kesinleştikçe, diğer listedeki ona karşılık gelen özellik hakkındaki bilginiz daha az kesin hale gelir. Heisenberg ilkesinin ortaya koyduğu belirsizlik işte bu iki listedeki bütün özellikleri aynı anda belirlemenin -mikro dünyaya özgü tüm bu özelliklerin hepsini kesin bir şekilde belirlemenin- temel olarak mümkün olmamasıdır.

Örneğin bir parçacığın nerede olduğunu ne kadar kesin belirlerseniz, hızını belirlemedeki kesinlik o kadar az olur. Benzer biçimde bir parçacığın hızını ne kadar kesin belirlerseniz, parçacığın nerede olduğu konusundaki bilginiz o kadar az olur. Böylece kuantum kuramı kendi ikiliğini kurar: Mikro dünyadaki bazı fiziksel özellikleri kesinlikle belirleyebilirsiniz, ama bunu yaparken bazı başka, tamamlayıcı özellikleri kesinlikle belirleme olasılığını ortadan kaldırmış olursunuz.

Bunun nedenini anlamak için Heisenberg'in kendisinin geliştirdiği, ileride tartışacağımız gibi belli bazı bakımlardan eksik olmakla birlikte gene de yararlı bir sezgisel kavrayış sağlayan, kaba bir tanımı izleyelim. Herhangi bir cismin konumunu ölçtüğümüzde, genellikle onunla bir şekilde etkileşiriz. Karanlık bir odada el yordamıyla elektrik düğmesini ararken, düğmeye dokunduğumuzda onu bulduğumuzu anlarız. Bir yarasa, tarla faresi ararken hedefe doğru sonar dalgaları gönderir ve aldığı yansımaları yorumlar. Ama en yaygın olan bir şeyin yerini onu görerek -yani cisimden yansıyan ışığın gözlerimize girmesiyle- belirlemektir. Burada önemli olan nokta şudur: Bu etkileşimler yalnız bizi değil, konumu belirlenen cismi de etkiler. Işık bile, bir cisimden yansıdığında küçük bir itme yaratır. Elinizdeki kitap, duvardaki saat gibi gündelik hayatta sık karşılaştığımız cisimler söz konusu olduğunda, ışığın uyguladığı bu çok ama çok küçük itmenin fark edilebilir bir etkisi yoktur. Ama elektron kadar küçük bir parçacığa çarptığında etkisi büyük olabilir: Tıpkı sert esen bir rüzgârın yürüyüş hızınızı etkilemesi gibi, ışık da elektronun hızını değiştirir. Aslında bir elektronun konumunu ne kadar büyük bir kesinlikle belirlemek isterseniz, göndermeniz gereken ışın demetinin de o kadar yüksek enerjili olması gerekir ki, bu da elektronun hareketi üzerinde daha büyük bir etki yapar.

Bu, bir elektronun konumunu büyük bir kesinlikle ölçerseniz, kendi yaptığınız deneyi mutlaka bozuyorsunuz demektir: Elektronun konumunu kesin olarak ölçme eylemi, elektronun hızını değiştirir. Dolayısıyla elektronun nerede olduğunu tam olarak bilebilirsiniz, ama tam o andaki hızını kesin olarak bilemezsiniz. Tersine, elektronun hızını kesin bir biçimde ölçebilirsiniz, ama bunu yaparken de tam yerini ölçemezsiniz. Doğanın, bu tür birbirini tamamlayan özelliklerin belirlenmesinin kesinlik derecesi konusunda yapısal bir sınırı vardır. Her ne kadar biz elektronlar üzerine odaklandıysak da belirsizlik ilkesi tümüyle geneldir: Her şey için geçerlidir.

Günlük hayatta, rahat rahat bir otomobilin kırmızı ışıkta (konum) 145 kilometre hızla (hız) geçtiğini söyleyebiliriz, bunu söylediğimizde iki fiziksel özellik belirtmiş oluruz. Oysa kuantum mekaniği, bir cismin hem konumunu hem de hızını aynı anda kesin olarak belirleyemeyeceğiniz için, böyle bir

ifadenin kesin bir anlamı olmadığını söyler. Fiziksel dünyaya ilişkin böylesi doğru olmayan tanımlamalarla idare edebilmemizin nedeni, gündelik ölçeklerdeki belirsizliklerin küçük olması ve genel olarak fark edilmemesidir. Görüldüğü gibi, Heisenberg ilkesi sadece belirsizliği ortaya koymakla kalmaz, herhangi bir durumdaki minimum belirsizlik miktarını -tam bir kesinlikle- belirler. Eğer Heisenberg'in formülünü, konumu 1 cm duyarlılıkla bilinen bir trafik lambasının yanından geçmekte olan otomobilinizin hızına uygularsak, hızdaki belirsizlik saatte 1 kilometrenin milyarda birinin milyarda birinin milyarda birinin milyarda birinden biraz küçüktür. Bir trafik polisi, kırmızı ışıkta geçerkenki hızınızın saatte 144,999999999999999999999999999999999 ile 14 5,000000000000000000000000000000001 kilometre arasında olduğunu söylerse kuantum fiziği yasalarıyla uyumlu konuşmuş olur; işte olası bir belirsizlik ilkesi savunmasına karşı iyi bir önlem. Ama kütlesi büyük olan otomobilinizin yerine, konumunu bir metrenin milyarda biri duyarlılıkla bildiğimiz bir elektron koyarsak, o zaman bu elektronun hızındaki belirsizlik, saatte 160.000 kilometre olur. Belirsizlik her zaman vardır, ama yalnız mikro ölçeklerde önemli hale gelir.

Belirsizliğin, ölçüm sürecinin yol açtığı kaçınılmaz etkiden kaynaklandığı yolundaki açıklama, fizikçilere yararlı bir sezgisel kılavuz sağlamasının yanı sıra bazı özel durumlar için de güçlü bir açıklayıcı çerçeve oluşturur. Bununla birlikte, bazı durumlarda yanıltıcı da olabilir. Belirsizliğin, sadece biz deneycilerin işlere burnumuzu sokmamızdan kaynaklandığı izlenimini vere- bilir. Bu doğru değil. Belirsizlik, kuantum mekaniğinin dalga yapısına işlemiştir ve biz ölçüm yapıyor olsak da olmasak da vardır. Örnek olarak bir parçacığın özellikle basitleştirilmiş, yumuşak okyanus dalgalarına benzeyen olasılık dalgasına bir bakalım (Şekil 4.6). Dalga tepeleri düzgün bir şekilde sağa doğru gittiği için, şekildeki dalganın dalga tepeleriyle aynı hızda hareket eden bir parçacığı temsil ettiğini düşünebilirsiniz; deneyler de bunu doğrular. Ama parçacık nerede? Dalga uzaya düzgün, tekbiçimli olarak dağıldığından, elektronun burada veya orada olduğunu söyleyebilmemizin bir yolu yok. Ölçüm yapıldığında, kelimenin tam anlamıyla her yerde bulunabilir. Yani, parçacığın hızını tam bir kesinlikle bilmekteyken, yeri konusunda dev bir belirsizlik var. Gördüğünüz gibi, bu sonuç bizim parçacığa etki etmemize de bağlı değil. Parçacığa hiç dokunmadık. Belirsizlik dalgaların temel bir özelliğine dayanır: Dalgalar yayılabilir. Ayrıntılar önemli olmakla birlikte, benzer bir mantık diğer bütün dalga şekilleri için de geçerlidir, dolayısıyla buradan çıkan genel ders de açıktır. Kuantum mekaniğinde belirsizlik vardır, o kadar.



Şekil 4.6 Birbirini düzgün bir şekilde izleyen tepeleri ve çukurları olan bir olasılık dalgası, belirli bir hızı olan bir parçacığı temsil eder. Ama tepe ve çukurlar uzaya düzgün ve tekbiçimli olarak yayıldığı için, parçacığın konumu tamamen belirsizdir. Herhangi bir noktada olma olasılığı bütün noktalar için aynıdır.

Einstein, Belirsizlik ve Bir Gerçeklik Sorusu

Sizin de aklınıza gelmiş olabilecek önemli bir soru, belirsizlik ilkesinin gerçekliğe ilişkin neler bilebileceğimizle mi yoksa gerçekliğin kendisiyle mi ilişkili olduğu sorusudur. Her ne kadar kuantum belirsizliği gerçekliğin bu özelliklerini aynı anda bilmemizin, ilkesel düzeyde bile, yeteneğimizin ebediyen ötesinde olduğunu söylüyorsa da, evrendeki şeylerin -süzülen bir top, kaldırımda koşan bir sporcu, Güneş'in gökyüzündeki yolunu izleyen bir ayçiçeği- gerçekten bir konumu ve hızı var mı? Ya da kuantum belirsizliği klasik kalıpları tümden kırarak, klasik sezgimizin gerçekliğe atfettiği özellikler listesinin, başında dünyayı oluşturan parçacıkların konum ve hızlarının olduğu listenin yanlış olduğunu mu söylüyor? Kuantum belirsizliği, bize son derece basit bir biçimde, belirli bir anda parçacıkların kesin bir konuma ve hıza sahip olmadığını mı söylüyor?

Bohr için bu konu Zen Budizm'indeki mantıksal sonucu olmayan problemlere benziyordu. Fizik yalnızca ölçebildiğimiz şeylerle ilgilenir. Fiziğin bakış açısına göre gerçeklik budur. Fiziği "daha derin" gerçekliği, yani ölçerek bilemediğimiz gerçekliği çözümlemek için kullanmak fiziğin "çarpan

tek bir elin sesini " çözümlemesini istemeye benzer. Ama Einstein 1935'te Boris Podolsky ve Nathan Rosen adlı iki meslektaşıyla birlikte, bu konuyu öyle zekice ele aldı ki, "çarpan tek elin sesi" olarak başlayan şey, elli yıl boyunca yankılanarak bir gök gürültüsüne dönüştü ve gerçekliği kavrayış biçimimize Einstein'ın bile hayal etmediği ölçüde büyük bir saldırının habercisi oldu.

Einstein-Podolsky-Rosen makalesinin amacı, kuantum mekaniğinin öngörüde bulunmak ve verileri açıklamaktaki inkâr edilemeyecek başarısına rağmen, mikro evrenin fiziği ile ilgili son söz olamayacağını göstermekti. Stratejileri basitti: Her parçacığın, zamanda verili bir anda belirli bir konumu ve hızı olduğunu göstermek ve buradan da belirsizlik ilkesinin, kuantum mekaniğine özgü yaklaşımdaki temel bir sınırlılığı açığa çıkardığı sonucuna varmak istiyorlardı. Eğer her parçacığın konumu ve hızı varsa, fakat kuantum mekaniği gerçekliğin bu özelliklerinin üstesinden gelemiyorsa, demek ki kuantum mekaniği evrenin yalnızca kısmen betimleyebiliyor demekti. Dolayısıyla kuantum mekaniğinin fiziksel gerçeklikle ilgili tamamlanmamış bir kuram olduğunu ve belki de ileride keşfedilecek, daha derin bir çerçeveye yönelik bir adım olduğunu göstermek istiyorlardı. Aslında çok daha olağandışı bir şeyin, kuantum dünyasının yerel olmama özelliğinin kanıtlanmasına zemin hazırlamışlardı.

Einstein, Podolski ve Rosen kısmen Heisenberg'in belirsizlik ilkesiyle ilgili henüz ayrıntısına inilmemiş açıklamasından esinlenmişti: Bir şeyin nerede olduğunu ölçerken kaçınılmaz olarak onunla etkileşir ve o andaki hızını da ölçme işlemini en baştan bozmuş olursunuz. Her ne kadar kuantum belirsizliği "bozma" açıklamasının gösterdiğinden daha genel ise de Einstein, Podolsky ve Rosen, bütün belirsizlik kaynaklarını etkisiz hale getiriyormuş gibi görünen, zekice ve ikna edici bir çözüm yolu bulmuşlardı. "Bir parçacığın hem konumunu hem de hızını, parçacığın kendisiyle doğrudan hiç etkileşime girmeden, dolaylı bir yoldan ölçebilirsek ne olur" diye soruyorlardı. Klasik bir benzetmeye başvuralım: Rod ve Todd Flanders'ın Springfield'in yeni Nükleer Çölü'nde gezinti yapmaya karar verdiğini düşünelim. Çölün tam ortasında sırt sırta verip önceden belirledikleri bir hızda, dümdüz, ters yönlere doğru yürüyecekler. Dokuz saat sonra babaları Ned, Springfield Dağı'nda yaptığı yürüyüşten dönerken uzaktan Rod'u görüp ona doğru koşarak telaşla Todd un nerede olduğunu soruyor. Artık Todd uzaktadır, ama Ned yine de Rod'u gözleyerek ve ona sorular sorarak Todd ile ilgili çok şey öğrenebilir. Eğer Rod başlangıç noktasından tam olarak 45 kilometre doğudaysa, Todd da başlangıç noktasından tam olarak 45 kilometre batıda demektir. Eğer Rod doğuya doğru tam olarak saatte 5 kilometre hızla yürüyorsa, Todd da batıya doğru tam olarak

saatte 5 kilometre hızla yürüyor demektir. Yani 90 kilometre uzaktaysa bile, dolaylı yoldan da olsa Ned Todd'un konumunu ve hızını öğrenmiş demektir.

Einstein ve meslektaşları benzer bir stratejiyi kuantum akınına uyguladı. Özellikleri birbirleriyle bir şekilde ilişkili olan (Rod'un ve Todd'un hareketlerinin birbirleriyle ilişkili olması gibi) iki parçacığın ortak bir konumda ortaya çıktığı, iyi bilinen fiziksel süreçler vardır. Örneğin tek bir parçacık, kütleleri eşit ve ters yönlere giden iki parçaya bölünürse (patlayıp ikiye ayrılan bir cismin parçalarının ters yönlere fırlaması gibi ki bu atomaltı parçacıkların dünyasında çok yaygın bir şeydir) iki parçacığın hızı aynı ve ters yönde olur. Dahası, bu parçacıkların konumları da birbirleriyle yakından bağlantılı olacaktır, kolaylık olsun diye bu parçacıkların her zaman ortak başlangıç noktasından eşit uzaklıkta olduğu düşünülebilir.

Rod ve Todd'la ilgili klasik örnekle, iki parçacığın kuantum tanımı arasında önemli bir fark var. İki parçacığın hızları arasında belirli bir ilişki olduğunu kesin bir şekilde söyleyebilsek de eğer birinin sola doğru belirli bir hızla gittiği ölçülmüşse, diğeri de mecburen sağa doğru ve aynı hızla gidiyor demektir- parçacıkların hızının gerçek sayısal değerini öngöremeyiz. Yapabileceğimizin en iyisi, belirli bir hızın parçacığın ulaştığı hız olma olasılığını öngörmek için kuantum fiziği yasalarını kullanmaktır. Aynı şekilde, parçacıkların konumları arasında belirli bir ilişki olduğunu kesin bir şekilde söyleyebilsek de -eğer verili bir anda bir parçacığın belirli bir konumda olduğu hesaplanmışsa, diğeri de mecburen ters yönde, başlangıç noktasından aynı uzaklıkta olacaktır- her iki parçacığın da gerçek konumlarını kesin bir şekilde öngöremeyiz. Yapabileceğimizin en iyisi, parçacıklardan birinin, seçilen bir noktada olma olasılığını öngörmektir. Yani kuntum mekaniği parçacıkların konumları ve hızları konusunda kesin cevaplar vermiyorsa da, belli durumlarda, parçacıkların hızları ve konumlan arasındaki ilişkiler konusunda kesin ifadelerde bulunur.

Einstein, Podolsky ve Rosen bu ilişkileri kullanarak, aslında zamanın verili her anında iki parçacığın da kesin bir konumu ve kesin bir hızı olduğunu göstermek istiyordu. Şöyle: Sağa doğru giden parçacığın konumunu ölçtüğünüzü ve bu yolla, dolaylı da olsa, sola doğru giden parçacığın konumunu öğrendiğinizi düşünün. Einstein, Podolski ve Rosen sola doğru giden parçacığa kesinlikle hiç ama hiçbir şey yapmadığınız için, parçacığın o konumda olması gerektiğini, bütün yaptığınızın, dolaylı da olsa, o konumu belirlemek olduğunu ileri sürüyorlardı. Sonra da gayet zekice, sağa doğru giden parçacığın konumu yerine, hızını ölçmeyi seçmiş de olabileceğinize işaret ediyorlardı. Bu durumda sola doğru giden parçacığın hızını, onunla hiç etkileşmeden, dolaylı olarak bulmuş olacaktınız. Einstein, Podolski ve Rosen

sola doğru giden parçacığa kesinlikle hiç ama hiçbir şey yapmamış olacağınız için, parçacığın o hızda olması gerektiğini, bütün yaptığınızın o hızı belirlemek olduğunu ileri sürüyorlardı. Bunları bir araya getirince de -yaptığınız ölçüm ve yapmış olabileceğiniz^ ölçüm- sola doğru giden parçacığın, herhangi bir verili anda kesin bir konumu ve kesin bir hızı olduğu sonucuna varıyorlardı. Bu anlaşılması biraz zor bir nokta, ama çok önemli olduğu için bir kez daha tekrarlayayım: Einstein, Podolski ve Rosen, iki parçacık birbirlerinden ayrı ve uzak varlıklar olduğu için, sağa doğru hareket eden parçacığı ölçme eyleminin sola doğru hareket eden parçacık üzerinde hiçbir etkisi olamayacağı, şeklinde akıl yürütüyorlardı. Sola doğru hareket eden parçacık sağa doğru giden parçacığa ne yaptığınızdan ya da ne yapmış olabileceğinizden tümüyle habersizdir. Sağa giden parçacık üzerinde ölçüm yaptığınızda, iki parçacık birbirlerinden metrelerce, kilometrelerce hatta ışık yıllarca uzak olabilir ve bu yüzden de, yani kısacası sizin ne yaptığınız sola giden parçacığın umurunda değildir. Bu nedenle, sağa giden eşini inceleyerek sola giden parçacığa ilişkin gerçekten öğrendiğiniz ya da ilkesel olarak öğrenebileceğiniz herhangi bir özellik, sola giden parçacımın, yaptığınız ölçümden tümüyle bağımsız kesin, var olan bir özelliği olmalıdır. Eğer sağa giden parçacığın konumunu ölçmüşseniz sola giden parçacığın konumunu öğreneceğiniz, sağa giden parçacığın hızını ölçmüşseniz sola giden parçacığın hızını öğreneceğiniz için, demek ki sola giden parçacığın hem kesin bir konumu, hem de kesin bir hızı vardır. Elbette tüm bu çözümleme sağa ve sola giden parçacıkların rolleri değiştirilerek tekrarlanabilir (aslında, herhangi bir ölçüm yapmadan önce hangi parçacığın sola, hangisinin sağa gittiğini bile söyleyemeyiz); bu da bizi her iki parçacığın da kesin bir konumu ve hızı olduğu sonucuna götürür.

Böylece Einstein, Podolski ve Rosen kuantum mekaniğinin, gerçekliğin eksik bir tanımlaması olduğu sonucuna vardı. Parçacıkların kesin konumları ve hızları vardır, ama kuantum mekaniğine özgü belirsizlik ilkesi gerçekliğin bu özelliklerinin kuramın yapabileceklerinin ötesinde olduğunu gösterir. Eğer Einstein, Podolski, Rosen ve diğer fizikçilerin çoğu gibi eksiksiz bir doğa kuramının gerçekliğin bütün özniteliklerini betimlemesi gerektiğini düşünüyorsanız, kuantum mekaniğinin parçacıkların hem konumlarını hem de hızlarını tanımlayamaması bazı öznitelikleri ıskaladığı ve dolayısıyla da son söz yani son kuram olmadığı anlamına gelir. İşte Einstein, Podolsky ve Rosen bunu savunuyordu.

Kuantumun Yanıtı

Einstein, Podolski ve Rosen her parçacığın verili bir anda kesin bir konumu ve hızı olduğu sonucuna ulaştığı halde, önerdikleri süreci izlemekle bu öznitelikleri belirleyemeyeceğinize dikkat edin. Yukarıda, sağa giden parçacığın hızını ölçmeyi seçebileceğinizi söylemiştim. Öyle yapsaydınız, konumunu bozmuş olacaktınız; öte yandan konumunu ölçmeyi seçmiş olsaydınız, hızını bozmuş yani değiştirmiş olacaktınız. Eğer sağa giden parçacığın bu iki niteliği birden elinizde değilse, sola giden parçacığın da bu nitelikleri elinizde olmaz. Demek ki, burada belirsizlik ilkesiyle bir çelişki yok: Einstein ve çalışma arkadaşları, verili bir parçacığın hem hızını, hem de konumunu aynı anda belirleyemeyeceklerinin gayet iyi farkındaydı. Ama Einstein, Podolski ve Rosen'in yürüttüğü mantık (işte burası çok önemli) iki parçacığın da hem konumunu hem hızını belirlemeden de her bir parçacığın kesin bir konumu ve hızı olduğunu gösteriyor. Onlara göre bu bir gerçeklik sorunuydu. Onlara göre bir kuram, betimleyemediği gerçeklik öğeleri olduğu sürece tam bir kuram olma iddiasında bulunamazdı.

Kuantum mekaniğinin savunucuları bu beklenmedik gözleme tepki olarak, ünlü fizikçi Wolfgang Pauli'nin çok iyi özetlediği, her zamanki pragmatik yaklaşımlarını benimsedi: "İnsanın, hakkında hiçbir şey bilemediği bir şeyin yine de var olup olmadığı konusunda zihnini yorması, bir iğnenin ucuna kaç meleğin sığacağı sorusunun cevabını aramasından daha anlamlı değildir." Genelde fizik, özelde kuantum mekaniği yalnızca evrenin ölçülebilir özelliklerini ele alabilir. Bunun dışındaki hiçbir şey fiziğin alanında değildir. Eğer bir parçacığın hem konumunu hem hızını ölçemiyorsanız, o zaman bu parçacığın hem konumu hem hızı olup olmadığını tartışmak anlamsızdır.

Einstein, Podolski ve Rosen aynı fikirde değildi. Gerçeklik, detektörlerin gösterdiğinden daha fazla bir şeydi; gerçeklik, verili bir anda yapılan tüm gözlemlerin toplamından daha fazla bir şeydi. Hiç kimse, hiçbir araç, hiçbir cihaz, hiçbir şey Ay'a "bakmasa da", Ay'ın hâlâ orada olduğunu düşünüyorlardı. Ay o zaman da gerçekliğin bir parçasıydı.

Bir anlamda bu tartışma Newton'un ve Leibniz'in uzayın gerçekliği konusundaki tartışmasının yankısı gibiydi. Gerçekten dokunamadığımız, göremediğimiz ve bir şekilde ölçemediğimiz bir şey gerçek sayılabilir mi? 2. Bölüm de Newton'un kovasının, dönmekte olan suyun içbükey yüzeyinde uzayın etkisinin doğrudan gözlenebileceğini öne sürerek uzay tartışmasının karakterini nasıl değiştirdiğinden söz etmiştim. 1964'te İrlandalı fizikçi John Bell, bir gözlemcinin "bilimin en büyük keşfi " dediği tek bir hamlede, aynı şeyi kuantum gerçekliği tartışmasında yaptı.

Bundan sonraki dört başlık altında, teknik ayrıntılardan mümkün olduğunca uzak durarak Bell in keşfini tanımlayacağız. Yine de, bu tartışmada zar oyunundaki olasılıkları hesaplarken kullanılan kadar karmaşık olmayan bir akıl yürütme kullanılıyorsa da, önce tanımlamamız sonra da birbiriyle ilişkilendirmek zorunda olduğumuz birkaç adım var. Ayrıntılardan çok hoşlanmıyorsanız, işin özüne gelmek isteyebilirsiniz. Eğer öyle olursa, Bell in keşfinin doğurduğu sonuçların ve ilgili tartışmanın özetini bulacağınız "Duman Yok, Ateş Var" başlığına (s. 137) geçebilirsiniz.

Bell ve Spin

John Bell, Einstein-Podolsky-Rosen makalesinin ana fikrini felsefi düşünce alanından çıkarıp sağlam deneysel ölçümle cevaplanabilecek bir soruya dönüştürdü. Şaşırtıcı bir biçimde, bunu başarabilmek için tek yapması gereken, kuantum belirsizliğinin aynı anda belirlememizi engellediği yalnızca iki özelliğin -örneğin konum ve hız- olmadığı bir durumu göz önüne almak oldu. Bell, eğer aynı anda belirsizliğin şemsiyesi altına giren üç veya daha fazla özellik varsa -birini ölçtüğünüzde diğerlerini bozduğunuz ve haklarında hiçbir şey bilemediğiniz üç veya daha fazla özellik- gerçeklik sorusunu ele alan bir deney olduğunu gösterdi. Böyle en basit örnek, spin (dönme) olarak bilinen bir şeyle ilgilidir.

1920'lerden beri fizikçiler, parçacıkların spinleri olduğunu, kaleye doğru giderken aynı zamanda kendi çevresinde dönen bir futbol topuna benzer şekilde döndüklerini biliyordu. Yine de kuantum parçacık spini, bu klasik örnekten temel birkaç noktada farklıdır ve şu ikisi bizim için çok önemlidir: Birincisi, parçacıklar -örneğin elektronlar ve fotonlar- herhangi bir belirli eksende, hiçbir zaman değişmeyen bir hızla, sadece saat yönünde ve saat yönünün tersi yönde dönebilir; bir parçacığın dönme ekseni yön değiştirebilir ama dönme hızı artamaz ve azalamaz. İkincisi, kuantum belirsizliğinin spin hareketine uygulanması (nasıl bir parçacığın konumunu ve hızını aynı anda belirleyemiyorsanız) bir parçacığın spinini de birden fazla eksende aynı anda belirleyemeyeceğinizi gösterir. Örneğin, bir futbol topu kuzeydoğu yönündeki bir eksende dönüyorsa, dönmesi kuzey yönündeki ve doğu yönündeki iki eksende paylaşılıyor demektir ve uygun bir ölçümle, her iki eksendeki dönüş oranlarını belirleyebilirsiniz. Ama eğer bir elektronun rasgele seçilmiş bir eksendeki spinini ölçerseniz, hiçbir zaman kesirli bir sonuç bulamazsınız. Hiçbir zaman. Sanki ölçme işleminin kendisi elektronu, tüm dönme hareketlerini toplayıp sizin üzerine odaklanmış bulunduğunuz eksende, ya saat yönünde ya da bunun tersi yönde dönmeye zorluyor gibidir. Dahası,

ölçümünüzün elektronun spini üzerindeki etkisinden dolayı, elektronun siz ölçüm yapmadan önce yatay eksende ya da ileri-geri eksende ya da herhangi bir başka eksende nasıl döndüğünü belirleme yeteneğinizi kaybedersiniz. Kuantum mekaniğine özgü spinin bu özelliklerini tam olarak göz önünde canlandırmak zordur ve bu zorluk klasik imgelerin kuantum dünyasının gerçek doğasını ortaya koymaktaki sınırlarını gösterir. Bununla birlikte kuantum kuramının matematiği ve on yıllardır yapılan deneyler, kuantum spininin bu özelliklere sahip olduğunu kuşkuya yer bırakmayacak şekilde gösteriyor. Spini işin içine katmamızın sebebi parçacık fiziğinin anlaşılması zor dünyasına girmek değil. Tersine, parçacık dönmesi örneği birazdan gerçeklik sorusuna hiç beklenmedik cevaplar bulmamıza yardım edecek basit bir laboratuvar görevi yapacak. Yani, her ne kadar biz kuantum belirsizliği yüzünden belli bir anda sadece tek bir eksendeki spinini bilebilsek bile, bir parçacığın her bir eksende belirli bir miktar spini var mı? Yoksa belirsizlik ilkesi bize başka bir şey mi anlatıyor? Gerçeklikle ilgili tüm klasik kavrayışların tersine, bir parçacığın aynı anda böyle niteliklere sahip olmadığını ve olamayacağımı mı söylüyor? Herhangi bir verili eksende belli bir spini olmadan, bir kuantum tereddüdü halinde bekleyen bir parçacığın, bir kimse veya bir şey onu ölçtüğü anda birden bire, seçilen bir eksende, seçilme olasılığı kuantum kuramı tarafından belirlenen belli bir spin değerine (saat yönünde veya bunun tersi yönde) sahip olduğunu mu söylüyor? Parçacıkların konumları ve hızları ile ilgili olarak sorduğumuz soruyla temelde aynı olan bu soruyla uğraşırken, spini kullanarak kuantum gerçekliği dünyasına girebilir ve spin örneğini büyük ölçüde aşan cevaplar bulabiliriz. Şimdi bunu görelim.

Fizikçi David Bohm tarafından açıkça gösterildiği gibi, Einstein, Podolsky ve Rosen'in akıl yürütme biçimi, parçacıkların seçilmiş bütün eksenlerde belli bir spinleri olup olmadığı sorusunu kapsayacak biçimde rahatça genişletilebilir. Şöyle: Biri laboratuvarın sağ tarafında, diğeri de sol tarafında olmak üzere, bir elektronun spinini ölçebilecek iki detektör kurun. Bu iki detektörün tam ortasındaki, yani detektörlere eşit uzaklıktaki bir kaynaktan ters yönlere doğru iki elektron çıkmasını sağlayın, öyle ki (daha önceki örnekte olduğu gibi elektronların konumları ve hızları arasında değil de) spinleri arasında bir bağıntı bulunsun, bunun nasıl yapıldığının ayrıntıları önemli değil; önemli olan yapılabileceği hatta kolaylıkla yapılabileceği. Bağıntı, eğer soldaki ve sağdaki detektörler aynı yöndeki eksenlerdeki spinleri ölçecek şekilde kurulmuşlarsa, ikisi de aynı sonucu alacak şekilde ayarlanabilir. Eğer detektörler kendilerine doğru gelen elektronların düşey eksendeki spinlerini ölçecek şekilde ayarlanmış sağ ve soldaki detektör elektronun spinin saat yönünde olduğunu bulmuşsa, sağdaki de kendi yönüne gelen elektronun spininin saat yönünde olduğunu bulacaktır. Eğer detektörler düşey eksenden saat yönünde 60 derece açı yapan bir eksendeki spinleri ölçecek şekilde

ayarlanmışsa ve soldaki detektör elektronun spinin saat yönünün tersinde olduğunu bulmuşsa, sağdaki de aynısını bulacaktır. Kuantum mekaniğinde yapabileceğimizin en iyisi yine detektörlerin saat yönünde ve saat yönünün tersi yönde spin bulmaları olasılığını hesaplamaktır, ama detektörlerden biri ne bulduysa diğerinin de aynısını bulacağını yüzde yüz kesinlikle söyleyebiliriz.

Einstein, Podolski ve Rosen tartışmasına Bohm'un getirdiği yorum, her anlamda konum ve hız üzerine odaklanmış olan özgün tartışmayla aynıdır. Parçacıkların spinleri arasındaki bağıntı sayesinde sola giden parçacığın herhangi bir eksendeki spinini dolaylı yoldan, yani sağa doğru giden eşinin aynı yöndeki eksendeki spinini ölçerek bulabiliriz. Bu ölçüm laboratuvarın sağ tarafında yapıldığı için, sola doğru giden parçacığı herhangi bir şekilde etkileyemez. Dolayısıyla, sola doğru giden parçacık baştan beri şimdi ölçülen spin değerine sahip olmuş olmalıdır. Bizim tek yaptığımız dolaylı da olsa bu değeri ölçmek olmuştur. Dahası, bu ölçümü istediğimiz herhangi bir eksende yapmayı seçebileceğimiz için, aynı sonuç bütün eksenler için geçerli olmalıdır: Her ne kadar her seferinde yalnızca bir eksendeki spinini net olarak ölçebilsek de, sola giden parçacığın bütün eksenlerde belli bir spini olmalıdır. Elbette sola ve sağa giden parçacıkların rolleri değiştirilebilir, bu da her parçacığın her eksende belli bir spine sahip olduğu sonucuna yol açar.

Bu aşamada, konum/hız örneğinden açık bir fark olmadığı için, siz de Pauli gibi böyle konular üzerinde kafa yormanın John Bell in her şeyi değiştirdiği nokta burasıdır. Bell, bir parçacığın birden çok eksendeki spinini aslında belirleyemesek bile, eğer bütün eksenlerde spini varsa, o zaman bu spinin sınanabilir, gözlenebilir sonuçları olduğunu keşfetti.

Gerçeklik Sınaması

Bell in görüşünün ana fikrini anlamak için tekrar Mulder ve Scully'ye dönelim ve ikisinin de, içinde yine titanyum kutular olan birer paket almış olduğunu düşünelim. Ama bu sefer titanyum kutular değişik. Her birinin bir yerine üç kapağı var: Biri üstte, biri yanda, biri de önde. Paketteki mektupta, bir kutunun üç kapağından herhangi biri açıldığında, o kutunun içindeki kürenin rasgele kırmızıya da mavi yanmayacağı seçeceği yazılı. Eğer kapaklarından biri açılan kutunun o kapağı değil de başka bir kapağı açılırsa kürenin rasgele seçeceği renk farklı olabilir, ama bir kapak açılıp da küre ışığını yaktığında, başka bir kapak açılmış olsaydı ışığın hangi renk olacağını belirlemenin artık hiç yolu yok. (Fiziğe uygularsak bu özellik kuantum belirsizliğine karşılık gelir: Bir özelliği ölçtünüzse diğer özellikler hakkında hiçbir şey belirleyemezsiniz. Mektupta son olarak, iki titanyum kutu seti arasındakiyle esrarengiz bir bağlantı olduğu yazılı: Her ne kadar bütün küreler

içinde bulundukları kutunun üç kapağından herhangi biri açıldığında hangi renk ışık vereceklerini rasgele seçiyorlarsa da, mektup eğer numarası aynı olan kutularındaki aynı kapağı açacak olurlarsa hem Mulder'ın hem de Scully'nin aynı renkte ışık çıktığını göreceğini öngörüyor. Yani Mulder 1 numaralı kutusunun üst kapağını açıp mavi ışık görürse, mektuba göre Scully de 1 numaralı kutusunun üst kapağını açtığında mavi ışık görecek; Mulder 2 numaralı kutusunun yan kapağını açtığında kırmızı ışık görürse, gene mektuba göre Scully de 2 numaralı kutusunun yan kapağını açtığında kırmızı ışık görecek. Gerçekten Scully ve Mulder, telefonda hangi kutunun hangi kapağını açacaklarını kararlaştırarak ilk on beş yirmi kutuyu açtıklarında, mektuptaki öngörülerin doğru olduğunu anlıyorlar.

Her ne kadar Mulder ve Scully ye öncekinden daha karmaşık bir problem verilmişse de, ilk bakışta Scully'nin önceki duruma uyguladığı akıl yürütme biçimi burada da uygulanabilir gibi görünüyor.

Scully "Mulder, bu da dünkü paket kadar aptalca hazırlanmış. Yine ortada gizemli bir şey yok. Her kutunun içindeki küre önceden programlanmış olmalı. Anlamıyor musun?" diyor.

Mulder "Ama şimdi üç kapak var" diyerek Scully'yi uyarıyor, "o nedenle kutu, hangi kapağı açacağımızı önceden 'bilemez', öyle değil mi?"
"Önceden bilmesi gerekmiyor. Bu, programlamanın bir parçası. Bak, şöyle bir örnek vereyim: Henüz açmadığımız 37 numaralı kutuyu al. Ben de aynısını yapacağım. Şimdi, benim 37 numaralı kutumun içindeki kürenin, kutunun üst kapağı açıldığında kırmızı, yan kapağı açıldığında mavi, ön kapağı açıldığında da kırmızı ışık verecek şekilde programlandığını varsayalım. Ben bu programa kırmızı, mavi, kırmızı adını veriyorum. O zaman bu kutuları bize gönderen her kimse, senin 37 numaralı kutunu da aynı şekilde programlamışsa ve ikimiz de aynı kapağı açarsak tabii ki aynı rengi göreceğiz. 'Esrarengiz bağlantı' bu kadar: Eğer sendeki ve bendeki aynı numaralı kutular aynı şekilde programlanmışsa, o zaman aynı kapaklan açtığımızda aynı renkleri göreceğiz demektir. Ortada gizemli bir şey yok" diye cevaplıyor Scully. Ama Mulder kürelerin programlandığına inanmıyor, mektuba inanıyor. Kutularından birinin herhangi bir kapağı açıldığında, kürelerin kırmızı ve mavi renkli ışıklardan birini rasgele seçtiğini ve bu nedenle de kendisinin ve Scully'nin kutuları arasında uzun erimli, esrarengiz bir bağ olduğunu düşünüyor.

Kim haklı? Küreleri, rasgele yapıldığı varsayılan renk seçiminden önce ve seçim sırasında incelemenin bir yolu olmadığı için (herhangi bir müdahalede bulunulduğunda kürelerin hemen rasgele bir şekilde kırmızı veya mavi renklerden birini seçeceğini, böylece kürelerin aslında nasıl çalıştığını

araştırmanın olanaksız hale geleceğini hatırlayın) Scully'nin mi yoksa Mulder'ın mı haklı olduğunu kesin olarak anlamak olanaksız gibi görünüyor.

Ama biraz düşününce, Mulder, bu soruyu kesin olarak cevaplayacak bir deney yapabileceklerini anlar. Mulder'ın düşüncesi hayli basit olmakla birlikte şimdiye kadar ele aldığımız konuların gerektirdiğinden biraz daha ayrıntılı bir matematiksel akıl yürütme gerektiriyor. Ayrıntıları anlamak için göstereceğiniz çaba boşa gitmeyecek -zaten o kadar da fazla ayrıntı yok ama bir kısmını anlayamasanız da dert etmeyin, birazdan sonucu özetleyeceğiz.

Mulder, kendisinin ve Scully'nin o ana kadar, yalnızca aynı numaralı kutuların aynı kapaklarını açarlarsa ne olacağı konusu üzerinde düşündüklerini fark ediyor. Heyecanlı bir şekilde Scully’yi tekrar arayıp her zaman aynı kapakları açmak yerine, kutularının her birindeki kapaklan rasgele ve birbirlerinden bağımsız bir şekilde açmayı seçerlerse çok daha fazla şey öğreneceklerini söylüyor.

"Mulder, yapma. Bırak da tatilimin keyfini çıkarayım. Bunu yaparak ne öğrenebiliriz ki?"

"Senin açıklamanın doğru olup olmadığını anlayabiliriz."

"Tamam, anlat o zaman."

"Çok basit. Eğer sen haklıysan, şunu anlıyorum: Eğer verili bir kutunun hangi kapağını açacağımızı birbirimizden bağımsız ve rasgele seçer ve gördüğümüz ışığın rengini yazarsak, bunu birçok kutu için tekrarladıktan sonra, baktığımız kutuların toplamının yüzde 50'sinden fazlasında aynı rengi gördüğümüz sonucuna ulaşmamız gerekir. Ama öyle olmazsa, kutuların yüzde 50'sinden fazlasında aynı renkleri gördüğümüz konusunda anlaşamazsak, o zaman sen haklı değilsin demektir" diye devam ediyor Mulder.

"Öyle mi, o nasıl oluyor? " Scully'nin ilgisi biraz artmıştır.

Mulder bu soruyu "Şöyle bir örnek vereyim: Varsayalım sen haklısın ve her küre bir programa göre davranıyor. Durumu somutlaştırmak için, belirli bir kutudaki kürenin programının mavi, mavi, kırmızı olduğunu düşünelim. Her ikimiz de üç kapak arasından seçim yaptığımıza göre, bu kutudaki kapakları toplam dokuz olası kombinasyonda açabiliriz. Örneğin ben kendi kutumdaki üst kapağı açmayı seçerken, sen kendi kutundaki yan kapağı açmayı seçebilirsin veya ben ön kapağı seçerken sen üst kapağı seçebilirsin." diyerek cevaplıyor.

"Evet, elbette" diye söze giriyor Scully. "Eğer üst kapağa 1, yan kapağa 2, ön kapağa 3 dersek, o zaman dokuz olası kombinasyon da şöyle olur: (1,1), (1,2), (1,3), (2,1), (2,2), (2,3), (3,1), (3,2), (3,3)"

"Evet, doğru. İşte önemli nokta da burada. Dikkat edersen, bu dokuz olası kombinasyondan beşi -(1,1), (2,2), (3,3), (1,2), (2,1)- kutularımızdaki kürelerden aynı renkte ışık çıktığını görmemize neden olacak. Bunların ilk üçünde aynı kapağı seçiyoruz, bildiğimiz gibi bu da her zaman aynı renkte ışık görmemizle sonuçlanıyor. Diğer iki kombinasyon da, yani (1,2) ve (2,1) de aynı rengi görmemizle sonuçlanıyor, çünkü program 1. ve 2. kapaklardan biri ya da diğeri açıldığında aynı renk -mavi- görülecek şekilde yapılmış. 5'de 9'un yarısından fazla olduğuna göre, olası kapak kombinasyonlarının yarısından fazlasında -yani yüzde ellisinden fazlasında- küreler aynı renkte ışık verecek." diyor Mulder.

Scully "Ama bir dakika! Bu örnek yalnızca bir programa, mavi, mavi, kırmızı programına ait. Ben açıklamamda farklı numaralı kutuların farklı programları olabileceğini ve genel olarak da öyle olacağını söylemiştim" diyerek itiraz ediyor." Aslında hiç fark etmez. Bu sonuç, tüm olası programlar için geçerli. Gördüğün gibi, benim mavi, mavi, kırmızı programıyla ilgili düşünüş şeklim yalnızca programdaki iki rengin aynı olduğu gerçeğine dayanıyor; bu yüzden aynı sonuç kırmızı, kırmızı, mavi ve kırmızı, mavi, kırmızı vb. tüm programlar için geçerli. Her programda renklerin en azından ikisi aynı olmak zorunda. Gerçekten farklı olanlar, üç rengin de aynı olduğu programlar: kırmızı, kırmızı, kırmızı ve mavi, mavi, mavi. Ama bu programlardan herhangi biriyle programlanmış kutular için, hangi kapağı açarsak açalım aynı rengi göreceğiz. Dolayısıyla üzerinde fikir birliği varmamız gereken oran azalmayacak, tersine artacak. Onun için, eğer senin açıklaman doğruysa ve kutular programlanmışsa -bu programlar bir kutudan diğerine değişse bile- gördüğümüz renklerin aynı olduğu konusunda yüzde 50'den yüksek bir oranda anlaşmamız gerekiyor."

Tartışma bu. Zor kısmını geride bıraktık. Temel nokta, Scully'nin haklı olup olmadığını ve her kürenin, hangi kapağın açıldığına bağlı olarak hangi renkte ışık çıkacağını kesin olarak belirleyen bir programa göre işleyip işlemediğini belirleyecek bir deneyin bulunması. Scully ve Mulder, kutularındaki üç kapaktan hangisini açacaklarını birbirlerinden bağımsız olarak ve rasgele bir şekilde seçer ve sonra da gördükleri rengi karşılaştırırlarsa, kutuların yüzde 50'sinden fazlasında aynı rengi gördükleri konusunda anlaşıyor olmaları gerekir.

Aşağıdaki başlıkta yapacağımız gibi bunu fizik diline çevirirsek, Mulder'ın fark ettiği şey John Bell'in keşfettiği şeydir.

Melekleri Açılarla Saymak

Bu sonucun fizik diline çevirisi basittir. Birisi laboratuvarın sağ tarafında diğeri ise sol tarafında olan (daha önce bahsettiğimiz deneyde de anlatıldığı gibi) gelen bir parçacığın örneğin bir elektronun spinini ölçen iki detektörümüz olsun. Detektörler spinin ölçüleceği ekseni seçmenizi gerektiriyor (düşey, yatay, öne-arkaya veya bunların arasında kalan sayılamayacak kadar çok eksenden biri). Basit olsun diye, detektörlerimizin yalnızca üç eksene izin verdiğini düşünelim. Deneyi her yaptığınızda gelen elektronun seçtiğiniz eksende ya saat yönünde ya da saat yönünün tersinde döndüğünü bulacaksınız.

Einstein, Podolsky ve Rosen e göre, gelen her elektron detektöre kendi "programı" diyebileceğimiz bir bilgiyle girer: Einstein, Podolski ve Rosen, gizli olsa bile, ölçemiyor olsanız bile, her elektronun seçilen bütün eksenlerde belli bir miktar spini -saat yönünde veya saat yönünün tersinde- olduğunu öne sürdü. Bu nedenle, bir elektron bir detektöre girdiğinde, hangi ekseni seçmiş olursanız olun, spininin saat yönünde mi yoksa saat yönünün tersinde mi olduğunu ölçeceğinizi kesin olarak belirler. Örneğin, üç eksende de saat yönünde dönmekte olan elektronun programı saat yönünde, saat yönünde, saat yönünde iken, ilk iki eksende saat yönünde, üçüncü eksende ise saat yönünün tersinde dönem elektronun programı saat yönünde, saat yönünde, saat yönünün tersinde olacaktır. Einstein, Podolsky ve Rosen, sola doğru giden elektronla sağa doğru giden elektron arasındaki bağıntıyı açıklamak için bu elektronların spinlerinin aynı olduğunu, bu nedenle de detektörlere aynı programlarla girdiklerini öne sürdü. Nitekim eğer soldaki ve sağdaki detektörler için aynı eksenler seçilirse, spin detektörleri aynı sonuçları bulacaktır.

Dikkat edilirse bu spin detektörleri, Scully ve Mulder'ın uğraştığı konuları aynen ama daha basit biçimde tekrarlıyor: Titanyum kutulardaki kapaklardan birini seçmek yerine spin eksenlerini seçiyoruz; kırmızı veya mavi ışık görmek yerine saat yönünde veya saat yönünün tersinde spin ölçüyoruz. Dolayısıyla, nasıl aynı numarayı taşıyan iki kutuda aynı kapakları açmak aynı renkte ışık görmekle sonuçlanıyorsa, iki detektörde aynı ekseni seçmek de aynı spin yönünün bulunmasıyla sonuçlanır. Gene, nasıl bir titanyum kutudaki belli bir kapağın açılması, eğer başka bir kapak açılsaydı hangi renkte ışık görüleceğini bilebilmemizi engelliyorsa, elektronun belli bir eksendeki spininin belirlenmesi de -kuantum belirsizliği sayesinde- eğer başka bir eksen seçmiş olsaydık bulacağımız spinin hangi yönde olacağını bilmemizi engeller. Tüm bu anlatılanlar, Mulder'ın kimin haklı olduğu yolundaki çözümlemesinin,

Dünya dışından gelen kutulara olduğu kadar bu duruma da uygulanabileceğini gösteriyor. Eğer Einstein, Podolski ve Rosen haklıysa, gerçekten her elektronun üç eksende de belli bir spin değeri varsa -her elektronun, olası üç spin ölçümünün de sonucunu kesin olarak belirleyen bir "programı " varsa- o zaman şu öngörüde bulunabiliriz: Deneyin birçok kez tekrarlanması -her detektör için eksenlerin bağımsız ve rasgele seçil erek tekrarlanması- sonucunda elde edilen verilerin incelenmesi, elektronların spinlerinin deneylerin yarısından fazlasında -her ikisi de saat yönünde veya her ikisi de saat yönünün tersinde olmak üzere- uyuştuğunu gösterecektir. Eğer elektronların spinleri deneylerin yüzde 50'sinden fazlasında uyuşmuyorsa Einstein, Podolsky ve Rosen haksızdır.

Bell'in keşfi budur. Bu keşif, elektronun birden fazla eksendeki spinini gerçekten ölçemeseniz bile -elektronun detektöre verdiği programı "okuyamasanız" bile- elektronun birden fazla eksende belli bir spini olup olmadığını öğrenmeye çalışmanın, bir iğnenin ucundaki melekleri saymakla aynı anlama gelmediğini gösterir. Tam aksine Bell bir parçacığın belirli spin değerlerine sahip olmasına ilişkin gerçek ve sınanabilir bir sonuç olduğunu buldu. Uç açıda, üç ayrı eksen kullanarak Pauli'nin meleklerinin sayılabilmesi için bir yol buldu.

Duman Yok, Ateş Var

Kaçırdığınız ayrıntılar olabilir diye, şimdiye kadar elde ettiklerimizi özetleyelim. Kuantum mekaniği Heisenberg'in belirsizlik ilkesi yoluyla, dünyadaki bazı özelliklerin -örneğin bir parçacığın konumu ve hızı, bir parçacığın çeşitli eksenlerdeki spini aynı anda kesin değerler alamayacağını öne sürer. Kuantum kuramına göre bir parçacık, kesin bir konuma ve kesin bir hıza sahip olamaz; bir parçacık birden fazla eksende belli bir spine (saat yönünde veya saat yönünün tersinde) sahip olamaz; bir parçacık belirsizlik çizgisinin iki ayrı tarafında bulunan şeyler söz konusu olduğunda belli öznitеliklere aynı anda sahip olamaz. Tersine, parçacıklar tüm olasılıkların belirsiz, şekilsiz ve olasılıksal karışımında yüzer; ancak ölçüm yapıldığı zaman, pek çok sonuç arasından kesin bir sonuç seçilmiş olur. Bunun, klasik fiziğin gösterdiği gerçeklik resminden çok farklı bir gerçeklik resmi olduğu açık.

Kuantum mekaniği konusunda her zaman kuşkucu olan Einstein, çalışma arkadaşları Podolsky ve Rosen ile birlikte, kuantum mekaniğinin bu yönünü kuramın kendisine karşı bir silah olarak kullanmaya çalıştı. Einstein, Podolski

ve Rosen, kuantum mekaniği böylesi özelliklerin aynı anda belirlenmesine izin vermiyor olsa bile, parçacıkların konum ve hızlarının yine de kesin değerlerinin olduğunu; parçacıkların bütün eksenlerde belli spin değerleri olduğunu; parçacıkların, kuantum belirsizliğinin yasakladığı her şey için kesin değerleri olduğunu öne sürdüler. Yani onlara göre kuantum mekaniği fiziksel gerçekliğin her yönünü ele alamadığın için -bir parçacığın konumunu ve hızını aynı anda ele alamaz; bir parçacığın birden fazla eksendeki spinini ele alamaz- tam bir kuram değildi.

Uzun bir süre boyunca Einstein, Podolski ve Rosen'in haklı olup olmadığı konusu, fizikten çok metafiziğin sorunu gibi görüldü. Pauli'nin söylediği gibi, eğer kuantum belirsizliğinin yasakladığı özellikleri gerçekten ölçemiyorsanız, bu özellikler gerçekliğin gizli katmanları arasında var olsa bile ne fark eder? Ama Bell, Einstein'ın, Bohr'un ve yirminci yüzyılın tüm diğer kuramsal fizik devlerinin göremediği bir şey bulmuştu: Doğrudan ölçülemiyor veya belirlenemiyor olsalar bile, bazı şeylerin sırf var olması bile fark eder ve bu fark deneysel olarak sınanabilir. Bell, eğer Einstein, Podolski ve Rosen haklı olsaydı, birbirlerinden çok uzağa yerleştirilmiş ve parçacıkların belli özelliklerini (yukarıda benimsediğimiz yaklaşıma göre, elektronların rasgele seçilmiş çeşitli eksenlerdeki spinlerini) ölçen detektörlerin bulduğu sonuçların birbirleri ile yüzde 50'den fazla uyuşması gerektiğini buldu.

Bell bu buluşu 1964 yılında yaptı, ama o zaman gerekli deneyleri yapacak teknoloji yoktu. 1970'lerin başına gelindiğinde ise vardı. Berkeley den Stuart Freedman ve John Clauser'ln başlattığı, Teksas A&M'den Edward Fry ve Randall Thompson'un sürdürdüğü, 1980'lerin başında da Fransa'da çalışan Alain Aspect ve arkadaşlarının yürüttüğü çalışmalarla bu deneylerin giderek yetkinleşen, etkileyici örnekleri yapıldı. Aspect deneyinde, birbirlerinden 13 metre uzaktaki iki detektörün tam ortasına yüksek enerjili kalsiyum atomları içeren bir kaynak yerleştirildi. Fizik kurallarından biliyoruz ki, her kalsiyum atomunun daha az enerjili, normal durumlarına dönerken iki foton salar; bu fotonlar, ters yönlere doğru hareket eder ve spinleri de, biraz önce incelediğimiz örnekteki spinleri bağıntılı elektronlar gibi, tamamen bağıntılıdır. Nitekim Aspect deneyinde de, detektörlerin ayarlan aynı iken iki fotonun ölçülen spinlerinin aynı yönde olduğu görüldü. Eğer Aspect'in detektörlerine saat yönünde spin belirlediklerinde kırmızı, saat yönünün tersinde spin belirlediklerinde ise mavi ışık verecek bir düzenek eklenseydi, gelen fotonlar her iki detektörün de aynı renk ışık vermesine neden olacaktı.

Ama ki burası son derece önemli, Aspect defalarca tekrarlanan bu deneyin sonucunda elde edilen verileri -soldaki ve sağdaki detektörlerin ayarlarının her zaman aynı olmadığı, her deneyde rasgele ve birbirinden bağımsız olarak

değiştirildiği deneyler sonucunda elde edilen veriler- incelediğinde, detektörlerin yüzde 50'den tuzlu oranda uyuşmadığını buldu.

Bu, çok çarpıcı bir sonuçtu. Okuduğunuzda nefesinizin kesilmiş olması gerekir. Ama öyle olmamış olması olasılığına karşı, biraz daha açıklayayım. Aspect'in sonuçları, Einstein, Podolsky ve Rosen'in haklı olmadığını deneysel olarak -yani kuramsal olarak değil, düşünce yoluyla değil, bizzat doğa sayesinde- kanıtlıyordu. Bu da Einstein, Podolski ve Rosen'in, parçacıkların kesin değerler almaları belirsizlik ilkesi tarafından yasaklanmış özelliklerinin aslında kesin değerleri -örneğin birbirinden farklı eksenlerdeki spin değerleri- olduğu sonucuna ulaşırken kullandıkları akıl yürütme biçiminin, bir yerde yanlış olduğu anlamına geliyordu. Nerede yanlış yapmış olabilirlerdi? Einstein, Podolsky ve Rosen in görüşlerinin şu temel varsayıma dayandığını hatırlayalım: Eğer verili bir anda bir cismin bir özelliğini, ondan uzakta olan bir başka cisim üzerinde yapılan bir deneyle belirleyebiliyorsanız, o zaman ilk cisim de baştan beri bu özelliğe sahiptir. Bu varsayımın gerekçesi basit ve son derece mantıklıydı. İlk cisim orada iken, ölçme işlemi burada yapılıyordu. İki cisim uzamsal olarak ayrıktı, bu nedenle ölçme işleminin ilk cisim üzerinde bir etkisi olmuş olamazdı. Daha doğrusu, hiçbir şey ışıktan daha hızlı gitmediği için, bir cisim üzerinde yaptığınız ölçüm eğer diğer cisimde bir değişikliğe -örneğin diğer cismin seçilmiş bir eksende kendisiyle aynı dönme hareketine başlamasına- neden olacaksa olsaydı, bu ancak bir gecikmeyle gerçekleşebilirdi. En azından ışığın bu iki cisim arasındaki uzaklığı kat etmesi için gereken zaman kadar bir gecikme. Ama hem bizim soyut akıl yürütmemizde hem de gerçek deneylerde, iki parçacık detektörler tarafından aynı anda ölçülmüştü. Bu nedenle, ikinci parçacığı ölçerek birinci parçacık hakkında ne öğrenirsek öğrenelim, öğrendiğimiz o şey birinci parçacığın, bizim deney yapıp yapmamamızdan tümüyle bağımsız olarak sahip olduğu bir özellikle ilgili olmak zorundadır. Kısaca, Einstein, Podolsky ve Rosen'ın iddiasının merkezinde oradaki bir cismin, buradaki bir cisme ne yaptığınızla hiç ilgisi olmadığı düşüncesi vardır.

Ama az önce gördüğümüz gibi bu akıl yürütme, detektörlerin ölçümlerin yarısından fazlasında aynı sonuçları bulacağı öngörüsüne yol açıyor. Ama deneyler bu öngörüyü çürütüyor. Ne kadar mantıklı görünürse görünsün, Einstein, Podolsky ve Rosen in varsayımının, kuantum evreninin işleyiş biçimi olamayacağı sonucuna varmak zorunda kalıyoruz. Böylece, dolaylı ama üzerinde dikkatle düşünülmüş bu akıl yürütmeyle, deneyler oradaki bir cismin, buradaki bir cisme ne yaptığınızla ilgisi olduğu sonucuna varmamıza neden oluyor.

Kuantum mekaniği her ne kadar parçacıkların ölçüldükleri anda rasgele şu veya bu özelliği aldığını göstermekteyse de, rasgeleliğin uzayda ilişkilendirilebileceğini öğreniyoruz. Uygun biçimde hazırlanmış parçacık çiftleri -bunlara dolanık parçacıklar denir- ölçülen özelliklerini bağımsız olarak edinmez. Sihirli bir çift zara benzerler. Biri Atlantic City'de, diğeri Las Vegas'ta atılır, her birinde rasgele bir sayı gelir, yine de her seferinde iki zar-daki sayılar bir şekilde birbirinin aynı olur. Dolanık parçacıklar da benzer şekilde davranır, tek farkları ortada sihir olmayışıdır. Dolanık parçacıklar, uzamsal olarak ayrık olsalar da kendi başlarına davranmazlar.

Einstein, Podolsky ve Rosen, kuantum mekaniğinin getirdiği evren tanımının eksik olduğunu göstermek üzere yola çıkmışlardı. Bu üçlünün çalışmalarının esinlendiği kuramsal fikirler ve deneysel sonuçlar, yarım yüzyıl sonra, onların analizini tepetaklak edip, akıl yürütmelerindeki en temel, sezgisel açıdan en mantıklı ve klasik olarak en anlamlı kısmının yanlış olduğu sonucuna varmamıza neden oluyor: Evren yerel değildir. Bir yerde yaptığınız şeyin sonucu (bu iki nokta arasında herhangi bir şey gitmese bile; herhangi bir şeyin bu iki nokta arasındaki yolculuğu tamamlayacak kadar vakti olmasa bile) başka bir yerde olan bir şeyle ilişkili olabilir. Eldeki veriler, Einstein, Podolsky ve Rosen'ın parçacıklar en baştan belli ve bağıntılı özelliklere sahip olduğu için böyle uzun erimli bağıntıların ortaya çıktığı yolundaki önerisini çürütüyor. Tüm bunları bu kadar sarsıcı yapan da bu.

1997'de Nicolas Gisin ve Cenevre Üniversitesi'ndeki çalışma arkadaşları, Aspect deneyinin bir benzerini yaptı. İki detektörün birbirinden 11 kilometre uzağa yerleştirildiği bu deneyde sonuçlar değişmedi. Fotonun dalga boyu olan mikro ölçeklere göre 11 kilometre çok büyük bir uzaklıktır. Aslında mesafe 11 milyon kilometre veya 11 milyar ışık yılı da olsa fark etmezdi. Detektörler birbirinden ne kadar uzağa yerleştirilirse yerleştirilsin, fotonların arasındaki dolanıklığın değişmeyeceğini düşünmek için çok neden var.

Bu insana son derece acayip geliyor. Ama artık kuantum dolanıklığı adı verilen bu olguyu destekleyen çok fazla kanıt var. Eğer iki foton dolanıksa, bunlardan birinin bir eksendeki spininin başarıyla ölçülmesi, uzakta olan diğer fotonu aynı eksende, aynı spine sahip olmaya "zorluyor". Bir fotonun ölçülmesi işlemi, uzaktaki fotonu olasılık sisinden çıkıp belli bir spin değeri, uzaktaki eşiyle kesinlikle aynı olan bir spin değeri seçmeye mecbur ediyor. Bu da insanın aklını durduruyor.

Dolanıklık ve Özel Görelilik: Standart Görüş

"Zorluyor" ve "mecbur ediyor" ifadelerini tırnak içine aldım, çünkü bu ifadeler klasik sezgimize uygun anlamlar iletseler de, bu bağlamdaki tam anlamları daha da büyük bir altüst oluşa hazır olup olmamamız bakımından çok önemlidir. Gündelik anlamıyla bu sözcükler istemli bir nedensellik imgesi akla getirir: Orada özel bir şey olmasına neden olmak veya zorlamak için burada bir şey yapmayı seçeriz. Eğer iki fotonun karşılıklı ilişkisinin doğru tanımı bu olsaydı, özel görelilik zor durumda olurdu. Deneyler gösteriyor ki, laboratuvarda deney yapan kişi açısından, bir fotonun spininin ölçüldüğü anda diğer foton da aynı spin özelliğini alıyor. Eğer soldaki fotondan sağdaki fotona bir şey gidiyor ve sağdaki fotonu soldaki fotonun spininin ölçüldüğü yönünde uyarıyor olsaydı, bu şeyin fotonlar arasında eşanlı olarak yol alması gerekirdi ki bu da özel göreliliğin koyduğu hız limitiyle çelişir.

Özel görelilikle görünürdeki bu tip çelişkilerin yanılsama olduğu konusunda fizikçiler arasında fikir birliği vardır. Bunun sezgisel nedeni şudur: Fotonlar uzamsal olarak ayrık olsa bile, ortak kökenleri aralarında temel bir bağ oluşturur. Her ne kadar fotonlar birbirlerinden uzaklaşıp uzamsal olarak ayrık duruma gelseler de, geçmişleri onları birbirine bağlar; birbirlerinden uzak oldukları zaman bile hâlâ tek bir fiziksel sistemin parçasıdırlar. Yani aslında uzaktaki fotonu buradaki fotonla aynı özellikleri almaya zorlayan ya da mecbur bırakan şey bu foton üzerindeki ölçüm değildir, iki foton birbirine öylesine yakından bağlıdır ki -uzamsal olarak birbirlerinden çok uzak olsalar bile tek bir fiziksel varlığın parçaları olarak düşünülebilirler. O zaman, bu tek fiziksel varlıkla -iki foton içeren tek varlık- ilgili bir ölçümün varlığı etkilediğini söyleyebiliriz; yani her iki fotonu da aynı anda etkiler.

Bu tanımlamalar iki foton arasındaki bağı biraz daha inanılır hale getiriyorsa da, böyle söylendiğinde biraz belirsizdir. Yani, uzamsal olarak birbirinden ayrı olan iki şeyin tek olduğunu söylemek gerçekten ne anlama gelir? Şöyle bir sav biraz daha kesindir: Özel görelilik hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı gidemeyeceğini söylediği zaman, buradaki "hiçbir şey" bildiğimiz madde ve enerji anlamındadır. Ama eldeki durum daha karışık, çünkü görünüşe göre burada iki foton arasında herhangi bir madde veya enerji gitmiyor, yani hızını ölçeceğimiz bir şey yok. Bununla birlikte, özel görelilikle tam bir çatışma içinde olup olmadığımızı öğrenmenin bir yolu var. Madde ve enerjinin ortak bir özelliği, bir yerden bir yere giderken bilgi iletebilmeleridir. Bir radyo istasyonunda radyonuza gelen fotonlar bilgi taşır. Internet kabloları aracılığı ile bilgisayarınıza gelen elektronlar bilgi taşır. Bu nedenle, herhangi bir şeyin -tanımlanmamış bir şey olsa bile ışıktan hızlı gittiğinin öne sürüldüğü her durumda, bu şeyin bilgi iletip iletmediği veya en azından iletip iletemeyeceği sorusunu sormak bir turnusol kâğıdı görevi yapar. Cevap hayır ise standart mantık işler, ışıktan hızlı giden bir şey yoktur, özel göreliliğe meydan

okunmamış olur. Pratikte, karışık bir sürecin özel görelilik yasalarını ihlal edip etmediği konusunda fizikçilerin sık sık başvurduğu test budur. (Şimdiye kadar hiçbir süreç bu testten geçemedi.) Bu testi elimizdeki sürece uygulayalım.

Sola giden ve sağa giden fotonların verili bir eksendeki spinlerini ölçerek, bu fotonların birinden diğerine bilgi göndermenin bir yolu var mı? Cevap, hayır. Neden? Hem soldaki hem de sağdaki detektörlerin verdiği sonuçlar, rasgele bir saat yönünde veya saat yönünün tersi yönde spinler dizisinden başka bir şey değildir; çünkü deneyin her yapılışında parçacığın bu yönde ya da diğer yönde dönüyor olma olasılığı eşittir. Hiçbir ölçümün sonucunu hiçbir şekilde öngöremez ve kontrol edemeyiz. Dolayısı ile her iki detektörden elde edilen rasgele sonuçlar listenin hiçbirinde ne bir mesaj, ne gizli bir şifre, ne de herhangi bir bilgi vardır. Bu iki listeyle ilgili tek ilginç şey aynı olmalarıdır, ama bu da listeler ışıktan daha yavaş bir araçla (örneğin fax, e-posta, telefon vb.) yan yana getirilip karşılaştırılmadan anlaşılamaz. Böylece standart sav, her ne kadar fotonlardan birinin spininin ölçülmesi eşanlı olarak diğerini etkiliyor gibi görünüyorsa da, bir fotondan diğerine hiçbir bilgi iletilmediği ve özel göreliliğin getirdiği hız sınırının geçerli olduğu sonucuna varır. Fizikçiler -listeler birbirinin aynısı olduğu için- spin sonuçlarının bağıntılı olduğunu, ama iki uzak konum arasında hiçbir şey gelip gitmediği için, bunun klasik bir neden-sonuç ilişkisini temsil etmediğini söylüyor.

Dolanıklık ve Özel Görelilik: Karşı Görüş

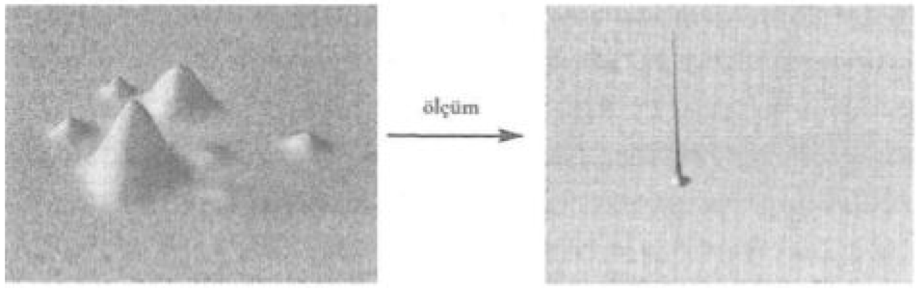
Bu kadar mı? Kuantum mekaniğinin yerel olmayışı ile özel görelilik arasındaki potansiyel çatışma ortadan kalktı mı? Büyük olasılıkla. Yukarıdaki görüşler temelinde, fizikçilerin çoğu, Aspect’in bağlantılı parçacıklarla ilgili olarak vardığı sonuçlar ile özel görelilik arasında uyumlu bir birliktelik olduğunu söyleyerek konuyu özetler. Kısacası özel görelilik paçayı sıyırıyor. Birçok fizikçi bunu ikna edici buluyor, bazıları işe işin başka yönleri de olduğu gibi rahatsız edici bir duygu içinde.

Ben sezgisel düzeyde her zaman birlikte var oluş görüşünü paylaştım, ama konunun çok hassas olduğu da inkâr edilemez bir gerçek. Ama sonuçta bütünsellik görüşü ne kadar savunulsa da, bilgi eksikliğine ne kadar dikkat çekilse de, kuantum mekaniğinin raslantısallığı tarafından yönetilen, birbirinden çok uzak iki parçacık biri ne yaparsa diğeri de anında aynı şeyi yapacak kadar "temasta" kalıyor. Bu da, ikisinin arasında ışıktan hızlı bir şeyin işlediğini gösteriyor.

Şu an durumumuz ne? Sağlam, evrensel olarak kabul gören bir cevap yok. Kimi fizikçiler ve filozoflar, ilerlemenin şimdiye kadar yaptığımız tartışmanın yanlış yere odaklandığını anlamamıza bağlı olduğunu öne sürüyor. Çok haklı olarak, özel göreliliğin özünün ışığın bir hız sınırı koymasından çok, ışık hızının bütün gözlemcilerin kendi hareketlerinden bağımsız olarak üzerinde anlaştığı bir şey olması olduğuna işaret ediyorlar. Daha genel olarak, bu araştırmacılar özel göreliliğin temel ilkesinin, hiçbir gözlem noktasının diğerinden daha farklı olmaması olduğunu vurguluyor. O nedenle de, sabit hızla hareket eden tüm gözlemcilerin eşit olarak ele alınması ile bağlantılı parçacıklar üzerindeki deneysel sonuçlar uyuşursa, özel görelilikle aradaki gerginliğin çözümleneceğini öne sürüyorlar (pek çok kimse de buna katılıyor).[17] Ama bu hedefe ulaşmak çok da kolay değil. Bunu somut olarak görmek için, eski model bir kuantum mekaniği ders kitabında Aspect deneyinin nasıl açıklandığını düşünelim.

Standart kuantum mekaniğinde, ölçüm yaparak bir parçacığın burada olduğunu bulduğumuzda, o parçacığın olasılık dalgasını değiştiririz: Önceki potansiyel sonuçlar aralığı, ölçümümüz sonucunda bulduğumuz tek gerçek sonuca indirgenir (Şekil 4.7). Fizikçiler, ölçümün olasılık dalgasının çökmesine neden olduğunu söyler. Bir yerdeki ilk olasılık dalgası ne kadar büyükse, dalganın o noktada çökme olasılığının o kadar büyük olduğunu -yani parçacığın o noktada bulunma olasılığının o kadar büyük olduğunu-düşünürler. Standart yaklaşımda çökme tüm evrende eşanlı olarak gerçekleşir: Bu düşünce biçimine göre, parçacığı burada bulduğunuzda başka bir yerde bulunma olasılığı anında sıfıra düşer, bu da olasılık dalgasının anında çökmesiyle ifade bulur.

Aspect deneyinde sola doğru giden fotonun spini ölçülüp de diyelim herhangi bir eksende, saat yönünde olduğu bulunduğunda, fotonun tüm uzaydaki olasılık dalgası çöker ve saat yönünün tersinde spinin sıfır olmasına neden olur. Bu çökme her yerde olduğu için, sağa doğru giden fotonun olduğu yerde de olur. Öyle görünüyor ki, o zaman sağa giden fotonun olasılık dalgasının saat yönünün tersindeki bölümü de çökerek sıfır olur. Bu nedenle sağa giden foton sola giden fotondan ne kadar uzak olursa olsun, olasılık dalgası sola giden fotonun olasılık dalgasındaki değişiklikten anında etkilenir ve onun spini de seçilen eksende sola giden fotonla aynı olur. O zaman standart kuantum mekaniğine göre, ışıktan daha hızlı etkiden sorumlu olan şey olasılık dalgalarındaki bu ani değişikliktir.



Şekil 4.7 Bir parçacık belli bir konumda gözlendiğinde, aynı parçacığı başka herhangi bir yerde bulma olasılığı sıfıra düşerken, gözlendiği noktadaki olasılık % 100'e çıkar.

Kuantum mekaniğinin matematiği bu niteliksel tartışmayı kesinleştirir. Nitekim çöken olasılık dalgalarının yol açtığı uzun erimli etkiler, Aspect'in soldaki ve sağdaki detektörlerinin (eksenleri rasgele ve birbirinden bağımsız olarak seçildiğinde) hangi sıklıkta aynı sonucu bulması gerektiği ile ilgili öngörüleri değiştirir. Kesin cevabı bulmak matematiksel hesaplar yapmayı gerektirir (bu konuyla ilgileniyorsanız notlar bölümüne bakın), ama hesap sonucunda da detektörlerin tam olarak % 50 uyuşması gerektiği sonucu çıkar (yani daha önce Einstein, Podolski ve Rosen'in paralel evren hipotezini kullanarak vardığımız, yüzde 50'nin üzerinde uyuşma öngörüsünden farklı bir sonuç). Bu sonuç yani % 50 uyuşma, Aspect'in deneylerinde bulduğu sonuçla tamamen aynı. Standart kuantum mekaniği verilerle etkileyici bir uyum gösteriyor.

Bu çok büyük bir başarı. Ama yine de bir pürüz var. Yetmiş yıldan daha uzun bir süre sonra hiç kimse bir olasılık dalgasının nasıl çöktüğünü, hatta gerçekten çöküp çökmediğini bilmiyor. Olasılık dalgalarının çöktüğü varsayımının, kuantum kuramının öngördüğü olasılıklar ile deneylerin ortaya koyduğu kesin sonuçlar arasında güçlü bir bağ oluşturduğu yıllar içinde kanıtlanmıştı. Ama bu, bilmecelerle dolu bir varsayımdır. Bir kere, çökme kuantum kuramının matematiğinden kaynaklanmıyor; bu kuramı alıp oraya biz yerleştiriyoruz, çünkü bunu yapmanın üzerinde fikir birliğine varılmış ve deneyle kanıtlanmış bir yolu yok. İkincisi, New York'taki detektörünüzde bir elektron bulmakla bu elektronun Andromeda galaksisindeki olasılık dalgasının anında sıfıra düşmesine sebep olmanız nasıl mümkün olabilir? Elbette parçacığı New York'ta belirlediğinizde artık Andromeda'da da olamayacağı kesin, ama hangi bilinmeyen mekanizma bunun böylesi bir etkinlikle gerçekleşmesini sağlayabilir? Daha serbest bir dille, olasılık dalgasının Andromeda'daki ve diğer her yerdeki parçaları eşanlı olarak sıfıra düşmeyi nasıl "biliyor "?

Bu kuantum mekaniksel ölçme problemini 7. Bölüm de ele alacağız (ve göreceğiz ki olasılık dalgalarının çökmesi varsayımının kullanılmadığı başka öneriler de var). Ama şimdilik 3. Bölüm de tartıştığımız gibi, bir bakış açısından eşanlı olan bir şeyin, hareket etmekte olan başka bir gözlemcinin bakış açısından eşanlı olmayabileceğini akılda tutmak yeterli, (hareket eden bir trende saatlerini ayarlayan Itchy ve Scratchy'yi hatırlayın.) Dolayısı ile eğer bir olasılık dalgası bir gözlemciye göre tüm uzayda eşanlı olarak çökecek olsaydı, hareket etmekte olan bir başka gözlemciye göre eşanlı çözmeyecektir. Aslında, hareketlerine bağlı olarak bazı gözlemciler soldaki fotonun önce ölçüldüğünü bildirecek, aynı derecede güvenilir olan diğer gözlemcilerse sağdaki fotonun önce ölçüldüğünü söyleyecektir. Bu nedenle de olasılık dalgalarının çökmesi fikri doğru olsa bile, hangi ölçümün diğerini etkilediği -soldaki fotonun ölçülmesi mi, sağdaki fotonun ölçülmesi mi- konusunda nesnel bir doğru olmayacaktır. O zaman da olasılık dalgalarının çökmesi, bir bakış noktasını tercih ediyormuş gibi görünecekti: Çökmenin kendisine göre uzayda eşanlı olduğu bakış noktasını, soldaki ve sağdaki ölçümlerin kendisine göre aynı anda olduğu bakış noktasını. Ama belli bir bakış noktasının seçimi, özel göreliliğin eşitlikçi özüyle uyuşmaz. Bu problemi aşmak için bazı yollar önerilmişse de, hangisinin -o da, eğer mümkünse- daha başarılı olduğu yönünde tartışmalar sürüyor.

Yani her ne kadar çoğunluğa göre ortada uyumlu bir birlikte var olma durumu varsa da, bazı fizikçiler ve filozoflar kuantum mekaniği, dolanık parçacıklar ve özel görelilik arasındaki ilişkinin tam olarak ne olduğu sorusuna cevaplanmamış bir soru olarak bakar. Çoğunluğun bakış açısının sonunda değiştirilmez bir şekil alarak hâkim olması elbette olası ve bana göre mümkün. Ama tarih, bazı karışık ve temele ilişkin soruların bazen devrim tohumlan attığını gösteriyor. Bu durumda da, ne olacağını ancak zaman gösterecek.

Peki, Bütün Bu Bilgilerle Ne Yapacağız?

Bell in akıl yürütmesi ve Aspect'in deneyleri, Einstein'ın gözünde canlandırdığı evrenin gerçeklikte değil, ancak zihinsel olarak var olabileceğini gösterdi. Einstein'ın evreni, burada yapılan bir şeyin, gene ancak burada olan şeylerle bağlantılı olabileceği bir evrendi. Onun bakış açısına göre fizik tam anlamıyla yereldi. Ama şimdi veriler bu düşünüşü boşa çıkarıyor, böyle bir evren olamayacağını gösteriyor.

Einstein'ın evreni bir de cisimlerin tüm olası fiziksel özniteliklerinin kesin değerler aldığı bir evrendi. Öznitelikler, bir deneyci onları ölçüp de "var edene" kadar var olmakla yok olmak arasında beklemezdi. Fizikçilerin

çoğunluğu Einstein'ın bu noktada da hatalı olduğunu söyleyecektir. Çoğunluğun bu düşüncesine göre, parçacık özellikleri bir ölçümün onları zorlamasıyla var olur -bu noktayı 7. Bölüm de daha ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. Parçacık özellikleri gözlenmedikleri ve çevreyle etkileşmedikleri zamanlarda, tek özelliği yalnızca bir ya da diğer potansiyel durumun gerçekleşmesi olasılığı olan, bulutsu, bulanık bir varlığa sahiptir. Bu fikrin en ateşli savunucuları, bir kimse ve bir şey Ay'a "bakmadığı" veya herhangi bir şekilde onunla etkileşmediği zaman Ay'ın gerçekten de orada olmadığını ileri sürer.

Bu konuda jüri kararını hâlâ vermedi. Einstein, Podolsky ve Rosen ölçüm yapılmasının birbirinden çok uzakta bulunan parçacıkların aynı özelliklere sahip olduğunu ortaya çıkarmasının tek anlamlı açıklamasının, parçacıkların baştan beri o belli özelliklere sahip olması olduğunu öne sürdüler (ortak geçmişleri nedeniyle özellikleri bağıntılıydı). Yıllar sonra Bell in çözümleme-leri ve Aspect'in verileri, sezgisel açıdan gayet kabul edilebilir olan ve parçacıkların her zaman kesin özelliklere sahip olduğu ön kabulüne dayanan bu önerinin, deneysel olarak gözlenen, yerel olmayan bağıntıları açıklamakta yetersiz kaldığını kanıtladı. Ama yerel olmayan bağıntıların gizemini açıklayamamak, parçacıkların her zaman kesin özelliklere sahip olması kavramının kendisinin de yanlış olduğu anlamına gelmez. Veriler evrenin yerel olmadığını gösteriyor, ama parçacıkların böyle saklı özelliklere sahip olmasının mümkün olmadığını göstermiyor.

Aslında Bohm 1950'lerde yerel olmama özelliğini ve saklı değişkenleri birleştiren kendi kuantum mekaniği yorumunu geliştirmişti. Bu yaklaşımda, her ikisini de aynı anda ölçemiyor olsak bile, parçacıkların her zaman hem kesin bir konumu hem de kesin bir hızı vardır. Bohm un yaklaşımı bildiğimiz kuantum mekaniği ile tamamen uyuşan öngörülerde bulunuyordu, ama formülasyonu yerel olmayışla ilgili daha da cesur bir öğe içeriyordu: Belli bir konumdaki bir parçacığa etkiyen kuvvetler eşanlı olarak uzak konumlardaki koşullara bağlıydı. Yani bir anlamda Bohm'un yorumu, Einstein'ın klasik fiziğin sezgisel açıdan anlamlı -parçacıkların kesin özelliklere sahip olması-ancak kuantum devrimi tarafından terk edilmiş özelliklerinden bazılarını tekrar yerine koyma amacına nasıl yaklaşabileceğimizi gösterir. Ama aynı zamanda bunu yapmanın yerel olmama özelliğinin daha da dikkat çekici bir yönünü kabul etmek gibi bir bedeli olduğunu da gösterir. Bu yüksek bedel karşısında, Einstein bu yaklaşımda pek de teselli bulamazdı.

Einstein, Podolsky, Rosen, Bohm, Bell, Aspect ve bu alanda önemli rol oynayan pek çok araştırmacının çalışmalarından çıkan en şaşırtıcı sonuç yerellikten vazgeçmek gerektiğidir. Şu anda evrenin çok farklı bölgelerinde

bulunan cisimler, geçmişleri dolayısıyla, kuantum mekaniğine özgü, bağlantılı bir bütünün parçaları olabilir. Her ne kadar birbirinden çok uzak da olsalar böyle cisimler rasgele ama eşgüdümlü bir şekilde davranıyor olabilir.

Uzayın temel özelliklerinden birinin iki cismi birbirinden ayırması, farklı kılması olduğunu düşünegelmişizdir. Ama şimdi, kuantum mekaniğinin bu görüşü kökten değiştirdiğini görüyoruz. İki şey uzayla birbirinden çok uzakta, tamamen ayrı olabilir ama gene de tam anlamıyla birbirlerinden bağımsız bir varlıkları olmayabilir. Bir kuantum bağlantısı birinin özelliklerini diğerine bağlı kılarak bunları birleştiriyor olabilir. Uzay, böylesi bağlantılı cisimleri birbirinden ayıramaz, bu karşılıklı bağları yok edemez. Bütün bir uzay böyle iki cisim arasındaki kuantum mekaniğine özgü karşılıklı bağları zayıflatamaz.

Bazıları bunu "her şey diğer her şeye bağlıdır" veya "kuantum mekaniği hepimizi tek bir evrensel bütünde dolanık kılar" şeklinde yorumlamıştır. Çünkü ne de olsa akıl yürütmemiz şöyle: Büyük Patlama da her şey bir yerden ortaya çıktı (bugün ayrı olduğunu düşündüğümüz her yer ta en başta tek bir yerdi diye düşünüyoruz). Her şey başlangıçtaki o aynı şeyden ortaya çıktığı için de (tıpkı bir kalsiyum atomunun saldığı iki foton gibi), her şey diğer her şeyle kuantum mekaniğine özgü bir biçimde bağlantılıdır.

Bu hoşuma gidiyor olsa da, böyle coşkulu sözler biraz abartılı. Kalsiyum atomundan çıkan iki fotonun arasında kuantum bağlantıları var elbette, ama o kadar hassaslar ki Aspect'in ve başkalarının yaptığı deneylerde, fotonların çıktıkları kaynaktan detektörlere ulaşana kadar kesinlikle hiçbir engelle karşılaşmaması gerekir. Eğer fotonlar detektörlerden birine ulaşmadan önce civardaki parçacıklarla çarpışır, deney düzeneğinin başka parçalarına çarparlarsa, fotonlar arasındaki kuantum bağlantılarını tanımlamak çok ama çok daha zor olur. Çünkü o durumda, iki fotonun özellikleri arasındaki bağıntıları aramak yerine, fotonlar ve çarpışmış olabilecekleri her şey arasında karmaşık bir bağıntı örüntüsü aramak gerekir. Bütün bu parçacıklar yollarına devam ederken daha da başka parçacıklarla çarpışacakları için, çevreyle bu etkileşimler sonucunda kuantum bağlantısı o kadar yayılacaktır ki saptanması olanaksız olacaktır. Fotonlar arasındaki ilk bağlantı hemen hemen silinmiş olacaktır.

Yine de bu bağlantıların var olması ve dikkatle düzenlenmiş laboratuvar koşullarında ciddi mesafelerde gözlenebiliyor olmaları gerçekten de şaşırtıcıdır. Bunun temel olarak bize gösterdiği şey uzayın bir zamanlar düşündüğümüz gibi olmadığıdır.

Ya zaman?

2 – ZAMAN VE YAŞANANLAR

V. Bölüm – Donmuş Nehir

Zaman, insanlığın şimdiye kadar karşılaştığı en bilindik ama en az anlaşılmış olan kavramlar arasındadır. Zamanın uçarcasına geçtiğini söyleriz, vakit nakittir deriz, zamandan tasarruf etmeye çalışırız ve zamanı boşa harcadığımız zaman üzülürüz. Ama acaba zaman nedir? Aziz Augustin ve Justice Potter Stewart onu ancak gördüğümüzde anlayacağımızı söylemiş olsalar da, üçüncü binyılın başlarındaki zaman kavrayışımız bundan biraz daha derinlikli olmalıdır. Bazı bakımlardan öyledir de. Ama diğer bazı bakımlardan öyle değildir. Yüzyıllar süren gizemden ve derin düşünüşlerden sonra zamanın bazı sırları konusunda epeyce bir şeyler öğrenmiş olsak da pek çoğu hâlâ esrarını koruyor. Zaman nereden geldi? Zamanın olmadığı bir evren ne anlama gelir? Tıpkı uzayın birden fazla boyutu olduğu gibi zamanın da birden fazla boyutu olabilir mi? Geçmişe "yolculuk" yapabilir miyiz? Eğer yapabiliyorsak yolculuğumuzu izleyen zaman dilimindeki olaylar zincirini değiştirebilir miyiz? Zamanın en küçük, mutlak bir birimi var mıdır? Acaba zaman, gerçekten evrenin yapısının temel bir bileşeni midir yoksa algılarımızı düzene koymaya yaramakla birlikte evrenin temel yasalarının yazımında kullanılan sözlükte bulunmayan bir yapı mıdır? Zaman, henüz keşfedilmemiş olan çok daha temel bir kavramdan kaynaklanan, türev bir kavram olabilir mi?

Bu sorulara tam ve tümüyle inandırıcı yanıtlar bulmak, modern bilimin en temel amaçlan arasındadır. Ama bu önemli sorular, başka sorular da olmadığı anlamına gelmez. Zamana ilişkin gündelik deneyimlerde bile evrenin en karışık bilmeceleri gizlidir.

Zaman ve Yaşananlar

Özel ve genel görelilik zamanın evrenselliği ve tekliğini paramparça etti. Bu kuramlar, her birimizin, Newton'un tanımladığı eski, evrensel zamanın bir parçasını alarak onu kendimizle birlikte taşımakta olduğumuzu gösterdi. Bu zaman, bizi dur durak bilmeden bir andan diğerine götüren kişisel saatimizdir. Görelilik kuramları bizi şaşırtmıştır çünkü kendi kişisel saatimiz kendi sezgisel zaman kavramımızla uyum içinde, düzgün, tekdüze işliyor olsa da başka saatlerle karşılaştırdığımızda ortaya bir fark çıkmaktadır. Sizin zamanınızla benim zamanım aynı olmak zorunda değildir.

Bunu verildiğini kabul edelim, peki acaba zamanın benim için gerçek anlamı nedir? Başkalarının zaman deneyimiyle bir karşılaştırmayı odak noktasına koymazsak, bir birey tarafından yaşandığı ve kavrandığı biçimiyle zamanın tam karakteri nedir? Bu deneyimler acaba zamanın gerçek doğasını kesinlikle yansıtabiliyorlar mı? Ve bunlar bize gerçekliğin doğası konusunda neler söylüyorlar?

Kendi deneyimlerimiz bize, ezici bir şekilde, geçmişin gelecekten farklı olduğunu anlatır. Gelecek, pek çok olasılık sunuyor gibi görünürse de, geçmiş tek bir şey, gerçekleşen şey olmak zorundadır. Geleceği bir dereceye kadar etkileyebileceğimizi, yönlendirebileceğimizi veya belli bir kalıba sokabileceğimizi hissederiz ama geçmiş, değişmez gibi görünür. Geçmiş ile gelecek arasında, tıpkı bir film şeridinin, film makinesinin parlak ışığının önünden geçerken anlık olarak "şimdi"ye dönüşen kareleri gibi kendini bir andan diğerine, geçici bir tutunma noktası olarak yeniden yaratan, kaygan bir şimdi kavramı vardır. Sanki zaman, trampetçinin her vuruşuyla şimdi hedefine doğru sonsuz, tekdüze bir ritimle gidiyor gibidir.

Deneyimlerimiz bize aynı zamanda, olayların zaman içinde nasıl geliştiği konusunda apaçık bir yönlülük olduğunu söyler. Dökülen süt için ağlamanın bir yararı yoktur, süt bir kez döküldüyse asla geriye dönüşü yoktur: Yere saçılmış sütün toparlanarak yerden yükseldiğini ve mutfak tezgâhının üzerinde duran bardağın içine dolduğunu hiçbir zaman görmeyiz. Yaşadığımız dünya tutarlı bir şekilde, olayların her zaman böyle başlayıp şöyle bitebileceği, hiçbir zaman şöyle başlayıp böyle bitemeyeceği koşulundan asla sapmayan, tek yönlü bir zaman okuna takılı kalmış gibi görünmektedir.

Bu nedenle, deneyimlerimiz bize, zaman konusunda birbirinin üzerine kapanan iki şey öğretir. Birincisi, zaman akmaktaymış gibi görünür. Sanki zaman nehrinin kıyısında oturmuşuz ve çok güçlü bir akıntı, geleceği bize doğru getiriyor, zaman bize ulaştığında şimdi oluyor ve nehrin aşağısına, geçmişe doğru akıyor gibidir. Bu benzetme size çok edilgen geldiyse, çevirebilirsiniz: Acımasızca ileriye doğru akan zaman nehrinde sürüklenmekteyizdir, bu nehir bizi bir şimdi anından diğerine götürür, geçmiş, akan manzarayla birlikte geride kalırken gelecek, nehrin alt tarafında bizi bekler. (Deneyimlerimiz, zamanın bize en duygusal benzetmeler konusunda ilham verdiğini de öğretmiştir.) İkincisi, zamanın bir oku varmış gibi görünür. Zaman, olayların yalnızca bir zamansal sıralamada olması anlamında tek bir yöne ve hep aynı yöne doğru akıyor gibidir. Birisi size, içinde bir bardak sütün döküldüğü kısa bir film bulunan ama kareleri tek tek kesilip karıştırılmış olan bir kutu vermiş olsa, film yapımcısının yardımı olmadan bu kareleri doğru zaman sıralamasına sokabilirsiniz. Zamanın yapısal bir yönü varmış ve geçmiş adı verilenden gelecek adı verilene akmakta, olaylar da bu

evrensel sıralamaya göre gelişmekte -süt dökülür, yumurtalar kırılır, mumlar yanar, insanlar yaşlanır- gibidir.

Zamanın kolayca algılayabildiğimiz özellikleri, onun en büyük bilmecelerinden bazılarını ortaya koyar. Zaman gerçekten akıyor mu? Eğer öyleyse gerçekten akan nedir? Ve bu zaman denen şey hangi hızda akıyor? Zamanın gerçekten bir oku var mı? Uzay, yapısından ayrılmaz bir oka sahip değilmiş gibi duruyor. Örneğin, evrenin karanlık derinliklerindeki bir astronot için sağ-sol, ileri-geri, aşağı-yukarı yönleri eşit durumdadır, o zaman bu zaman oku nereden geliyor? Eğer zaman oku varsa, acaba mutlak mı? Ya da bazı şeyler zaman okunun gösteriyormuş gibi göründüğü yönün tersi yönde gelişebilir mi?

Şimdiki kavrayışımızı ilk olarak bu sorulan klasik fizik çerçevesinde düşünerek pekiştirelim. Bu bölümün kalan kısmında ve gelecek bölümde (ki o bölümde önce zamanın akışını, sonra da okunu inceleyeceğiz) kuantum olasılığı ve kuantum belirsizliğini göz ardı edeceğiz. Bununla birlikte öğreneceklerimizin büyük bölümü doğrudan kuantum alanıyla bağlantılıdır ve Bölüm 7'de de zamana kuantum kuramının bakış açısını inceleyeceğiz.

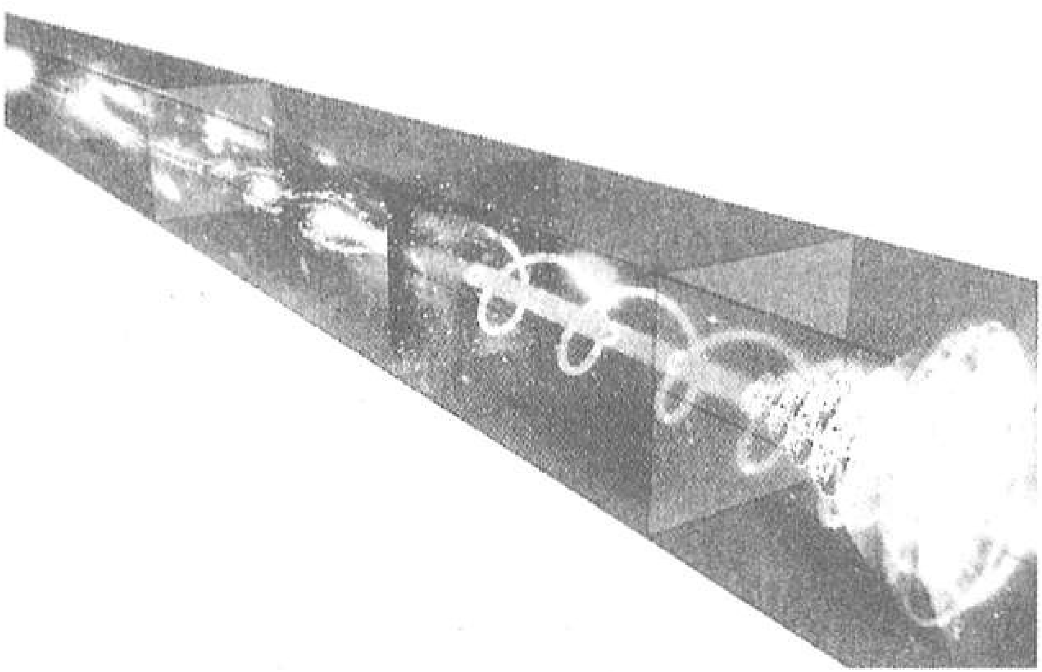
Zaman Akar Mı?

Hissedebilen varlıklar açısından cevap açıkmış gibi durmaktadır. Bu kelimeleri yazarken zamanın aktığını açıkça hissediyorum. Her tuşa dokunuşum, bir diğeri tarafından izleniyor. Bu kelimeleri okurken, gözleriniz sayfada bir kelimeden diğerine giderken, hiç kuşkusuz, siz de zamanın aktığını hissediyorsunuz. Ama fizikçiler ne kadar uğraşırlarsa uğraşsınlar, hiç kimse fizik yasaları içinde zamanın aktığı yönündeki sezgisel hissi destekleyen, inandırıcı bir kanıt bulamamıştır. Aslında Einstein'ın özel göreliliğe ilişkin görüşlerinden bazılarının yeniden yorumlanması, zamanın akmadığı yönünde kanıtlar ortaya koymaktadır.

Bunu anlayabilmek için, Bölüm 3'te kullandığımız, uzay- zamanın ekmek somunu benzetmesine geri dönelim. Somunu oluşturan dilimlerin, belirli gözlemciler açısından "şimdi"ler olduğunu hatırlayalım; her dilim o gözlemcinin bakış açısından zamanın bir anındaki uzayı temsil eder. Dilimleri, gözlemcinin onları yaşadığı sırayla yan yana koyarak elde ettiğimiz bütün, bir uzay-zaman bölgesini doldurur. Eğer bu bakış açısını mantıksal bir uç noktaya taşır ve her dilimin bir gözlemcinin bakış açısından zamanın verilen bir anında uzayın tümünü tanımladığını varsayar ve eğer çok eski geçmişten uzak geleceğe kadar olası tüm dilimleri düşünürsek, o zaman somun, bütün zamanlar için evrenin

tümünü - yani uzay-zamanın bütününü kaplayacaktır. Nerede ve ne zaman olmuş olursa olsun, her olay bu somunda bir nokta taralından temsil edilir.

Şekil 5.1'de gösterilen bu bakış açısı aklınızı biraz kurcalamış olmalı. Şekildeki tüm evrene, zamanın her anında uzayın tamamına baktığımız "dış" bakış noktası, hiçbirimizin hiçbir zaman bulunamayacağı, hayali bir noktadır. Hepimiz uzay-zamanın içindeyiz- Sizin veya benim yaşadığımız her şey uzayda bir yerde, belirli bir zamanda gerçekleşir. Şekil 5.1 bütün uzay-zamanı temsil etmeyi amaçladığı için, böylesi yaşantıların hepsini, sizin, benim, herkesin ve her şeyin yaşantılarını kapsar. Eğer çok ya kından bakarak yerküre gezegeninde tüm olup bitenleri görebilseydiniz, Büyük İskender'i Aristo'dan ders alırken, Leonardo da Vinci'yi Mona Lisa'nın son fırça darbesini vururken ve George Washington u Delaware'den geçerken görebilirdiniz. Görüntülere soldan sağa doğru bakmaya devam ettiğinizde büyükannenizi küçük bir kız olduğu zamanlarda oyun oynarken, babanızı onuncu yaş gününü kutlarken, okuldaki ilk gününüzü görebilirdiniz. Görüntüde daha sağa baktığınızda kendinizi bu kitabı okurken, torununuzun torununu doğarken ve biraz daha sağda da onu başkan olurken, törende görebilirdiniz. Şekil 5.1'in çözünürlüğü düşük olduğu için bu anları gerçekten göremezsiniz ama bir gaz bulutu olarak çöküşlerinden başlayarak (şematik olarak) Güneş ve Dünya'nın tarihini, Güneş'in bir kırmızı dev haline gelip Dünya'nın ölümüne neden oluşuna kadar görebilirsiniz. Bunların hepsi oradadır.



Şekil 5.1 Bütün uzayın, bazı ilk galaksilerin oluşumunu, Güneş ve Dünya'nın oluşumunu ve şimdilik uzak bir gelecekte olacağını düşündüğümüz, Güneş'in bir kırmızı dev haline gelmesi sonucunda Dünya'nın

kaçınılmaz ölümünü kapsayan, tüm zamanlardaki (elbette zamanın bir bölümünde uzayın bir bölümünü gösteren) şematik gösterimi.

Şekil 5.1'in hayali bir bakış açısı olduğu kuşkusuzdur. Bu nokta, uzay ve zamanın dışında durmaktadır. Şekildeki manzara hiçbir yerden ve hiçbir zaman görülemeyecek bir manzaradır. Ama böyle olsa bile-gerçekten uzay-zamanın ötesine bir adım atıp evreni bir bütün olarak tarayamıyor olsak bile-Şekil 5.1'in şematik tanımlaması bize, uzay ve zamanın temel özelliklerinin çözümlenmesi ve açıklığa kavuşturulması için güçlü bir araç sağlamaktadır. Önemli bir örnek olarak, zamanın akışına ilişkin sezgisel his, bu yapıda film projektörü benzetmesindeki bir değişiklikle son derece canlı bir şekilde gösterilebilir. Zaman dilimlerini birbiri ardı sıra aydınlatan bir ışığı gözümüzde canlandırabiliriz. Bu ışık aydınlattığı dilimi anlık olarak canlandırır onu anlık olarak şimdi yapar-ve ışık bir sonraki dilimi aydınlattığında önceki dilim yeniden karanlığa gömülür. Zaman hakkındaki bu sezgisel düşünüş biçimine göre, şu anda ışık sizin Dünya gezegeninde oturmuş bu kelimeyi okuduğunuz dilimi aydınlatıyor, şimdi de bu kelimeyi okuduğunuz dilimi aydınlatıyor. Buna rağmen, bu görüntü yaşadıklarımızla örtüşüyor gibi görünüyor olsa da, bilim insanları fizik yasaları içinde böyle hareketli bir ışığı ima eden herhangi bir şey bulamadılar. Bu bilimciler mekanizma sürekli olarak geleceğe doğru akarken, bir anı diğerinden ayıran, onun anlık olarak gerçek-anlık olarak şimdi- olmasını sağlayan bir mekanizma bulamadılar.

Tam tersine. Şekil 5.1'deki bakış açısı elbette hayalidir ama uzay-zaman somunu -dilimler değil ama uzay-zamanın bütünü- gerçektir. Einstein'ın çalışmasının pek de yaygın olarak kabul görmeyen bir sonucu, özel göreliliğin bütün zamanları eşit olarak ele aldığını söyler. Her ne kadar şimdi kavramı dünyaya bakışımızda merkezi bir rol oynuyorsa da, görelilik önsezilerimizi bir kez daha alt-üst ederek bizim evrenimizin, her bir anı diğeri kadar gerçek olan eşitlikçi bir evren olduğunu bildirir. Bölüm 3'te özel görelilik bağlamında dönen kova konusunu düşünürken bu fikre şöyle bir dokunup geçmiştik. Orada, Newton'unkine benzeyen dolaylı bir mantık yürütmeyle uzay- zamanın, ivmeli hareket için bir referans noktası oluşturmaya yeterli bir şey olduğu sonucuna varmıştık. Burada bu konuyu bir başka açıdan ele alıyor ve daha ileri götürüyoruz. Şekil 5.1'deki uzay-zaman somununun her parçasının diğer parçalarıyla eşit olarak var olduğunu, bunun da Einstein'ın inandığı gibi, gerçekliğin geçmiş, günümüz ve geleceği eşit olarak kucakladığını ve gözümüzde canlandırdığımız, bir dilimi ışığın altına getirip diğerini karanlığa gömen akışın aldatıcı bir görüntü olduğunu tartışıyoruz.

Geçmiş, Şimdi ve Gelecek Yanılsaması

Einstein'ın perspektifini anlamak için geçerli bir gerçeklik tanımına, verilen bir anda nelerin var olduğunu belirleyen bir algoritmaya ihtiyaç duyuyoruz. Bu konudaki yaygın bir yaklaşım şudur: Gerçekliği -şu anda neyin var olduğunu- düşünürken, akıl gözümde bir fotoğraf, bütün evrenin şu andaki donmuş, zihinsel görüntüsünü canlandırırım. Bu kelimeleri yazarken, şu anda neyin var olduğu konusundaki hissim, gerçeklik hissim tüm şu listeyle -mutfaktaki saatin gece yarısını vuruşu; yerden pencere pervazına atlarken havada uçan kedim; Dublin'i aydınlatan, sabahın ilk ışıkları; Tokyo borsasının uğultusu; Güneş'te iki belirli hidrojen atomunun kaynaşması; Orion bulutsusundan bir fotonun salınması; ölmekte olan bir yıldızın kara deliğe dönüşmeden önceki son anı- yani şu andaki donmuş zihinsel görüntülerle aynı şeydir. Bunlar, hemen şimdi olan şeyler oldukları için, şu anda var olduklarını öne sürdüğüm şeylerdir. Şu anda Şarlman (Charlemagne) var mı? Yok. Şu anda Neron var mı? Yok. Şu anda Lincoln var mı? Yok. Şu anda Elvis var mı? Yok. Hiçbiri benim şu anda var olanlar listemde yok. Şu anda 2300 yılında veya 3500 yılında veya 57.000 yılında doğmuş olan birisi var mı? Yok. Bütün bunlar benim akıl gözümün zihinsel donmuş görüntüleri arasında yok, şu andaki zaman dilimimde yok ve sonuç olarak hiçbiri benim şu anda var olanlar listemde yok. Bu nedenle hiç duraksamadan onların şu anda var olmadığını söylüyorum. Benim belirli bir anda gerçekliği tanımlayışım böyledir ve bu, varlık konusunu düşünürken üstü kapalı bir şekilde, çoğumuzun kullandığı sezgisel bir yaklaşımdır.

Şimdi bu kavramı aşağıda kullanacağım ama burada ince bir noktaya dikkat etmelisiniz. Bir şimdi-listesi -bu düşünüş biçimindeki gerçeklik- tuhaf bir şeydir. Hemen şimdi gördüğünüz hiçbir şey sizin şimdi-listenizde olamaz çünkü ışığın gözlerinize ulaşması bir zaman alır. Şu anda gördüğünüz şey olup bitmiştir. Bu sayfadaki kelimeleri, onların şu anda oldukları gibi görmezsiniz, eğer bu kitabı gözünüzden 30 cm uzakta tutuyorsanız, bu kelimeleri saniyenin milyarda biri kadar önceki halleriyle görürsünüz. Orta boyutlara sahip olan bir odada etrafınıza bakarsanız, eşyaları saniyenin on milyarda biriyle yirmi milyarda biri kadar önceki halleriyle görürsünüz. Grand Canyon'un karşısına bakarsanız, o tarafı saniyenin on binde biri kadar önceki haliyle görürsünüz, Ay'a bakarsanız onu bir buçuk saniye önceki haliyle görürsünüz, Güneş'i sekiz dakika önceki haliyle, çıplak gözle görülen yıldızları birkaç yılla 10.000 yıl arası önceki halleriyle görürsünüz. O zaman, her ne kadar zihinsel donmuş görüntüler gerçeklik hissimizi, "orada ne var" şeklindeki sezgisel hissimizi yansıtıyorsa da, aslında şu anda yaşayamayacağımız, etkileyemeyeceğimiz hatta kaydedemeyeceğimiz olayları kapsar. Bu nedenle güncel bir şimdi-listesi ancak olaylar olup bittikten sonra yapılabilir. Eğer herhangi bir şeyin ne kadar uzakta olduğunu biliyorsanız, o zaman sizin şimdi gördüğünüz ışığı onun ne zaman gönderdiğini ve onun sizin zaman dilimlerinizin hangisinde -geçmişteki hangi

şimdi-listesinde- kaydedilmesi gerektiğini belirleyebilirsiniz. Bununla birlikte ki bu kilit öneme sahip olan bir noktadır, verilen herhangi bir andaki şimdi-listesini oluşturmak için bu bilgiyi kullanırken, daha uzaktaki kaynaklardan ışık aldıkça bu listeyi güncelleriz, listeye konanlar önsezimizle o anda var olduğuna inandığımız şeylerdir.

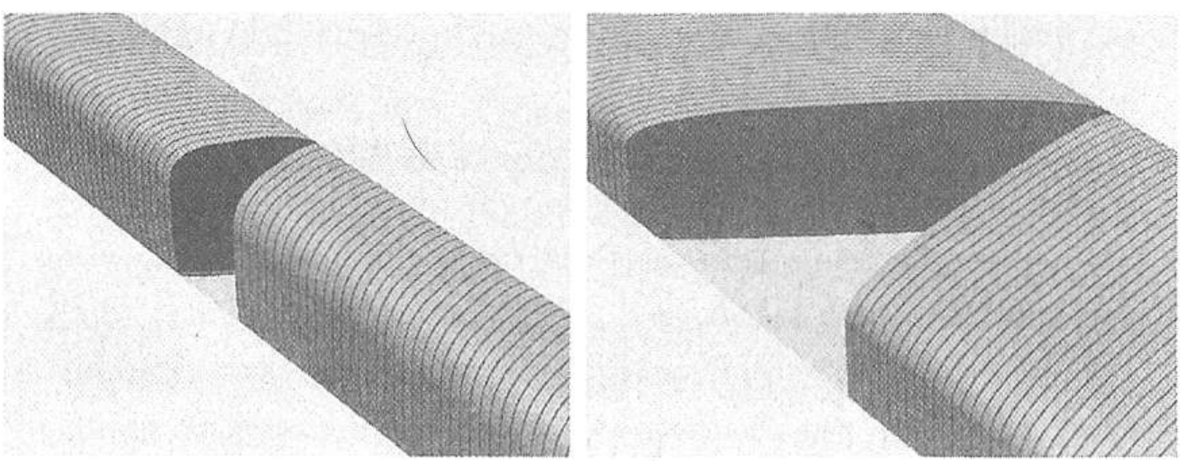
Bu görünüşte basit düşünüş şeklinin gerçeklik kavramının beklenmedik ölçüde genişlemesine yol açması dikkat çekicidir. Görüyorsunuz ki, Newton'un mutlak uzay ve mutlak zamanına göre verilen bir anda herkesin evrene ait donmuş görüntüleri tam olarak aynı olayları kapsar; herkesin şimdisi aynı şimdi-dir, bu nedenle herkesin verilen bir andaki şimdi-listesi birbirinin aynıdır. Eğer verilen bir anda herhangi birisi veya herhangi bir şey sizin şimdi-listenizdeyse, o zaman aynı anda zorunlu olarak benim de şimdi-listemde bulunacaktır. Pek çok kimsenin önsezileri hâlâ bu düşünce şekliyle sınırlıdır ama özel göreliliğin anlattığı öykü bambaşkadır. Şekil 3.4'e yeniden bakın. Birbirlerine göre hareket halinde olan iki gözlemcinin her birinin perspektifinden, şimdileri -zaman içindeki anları- farklıdır: Bunların şimdileri uzay-zamanı farklı açılarda keser. Farklı şimdiler, farklı şimdi-listeleri demektir. Birbirlerine göre hareket halinde olan gözlemcilerin, verilen bir anda neyin var olduğu kavramları birbirinden farklıdır ve bu nedenle de gerçeklik kavramları farklıdır.

Gündelik hızlarda iki gözlemcinin şimdi-dilimleri arasındaki açı çok küçüktür, günlük hayatta bizim şimdi tanımımızla bir başkasınınki arasındaki farka hiçbir zaman dikkat etmememizin nedeni budur. Bu nedenle özel göreliliğin çoğu tartışmaları, çok yüksek hızlarla -ışığın hızına yakın hızlarla- hareket ediyor olsak ne olacağı üzerine odaklanır, çünkü böylesi hızlarla hareket etmek, etkileri çok büyütecektir. Ama iki gözlemcinin şimdi kavramları arasındaki farkı büyütmenin bir yolu daha vardır ve ben bunun, gerçeklik sorusuna özellikle çok aydınlatıcı bir yaklaşım sağladığını düşünüyorum. Bu yol, şu basit gerçeğe dayanır: Eğer siz ve ben, normal bir somunu çok az farklı açılarda dilimlersek, bunun ortaya çıkan dilimler üzerindeki etkisi çok az olur. Ama somun dev boyutluysa, sonuç farklı olur. Nasıl çok uzun bir makası çok az açtığımız halde uçları arasındaki uzaklık çok büyük olabiliyorsa, dev bir ekmek somununu çok az farklı açılarda dilimlemek de dilimlerin kesişim noktalarının çok farklı yerlerde olmaları sonucunu doğurur. Bunu Şekil 5.2'de görebilirsiniz.

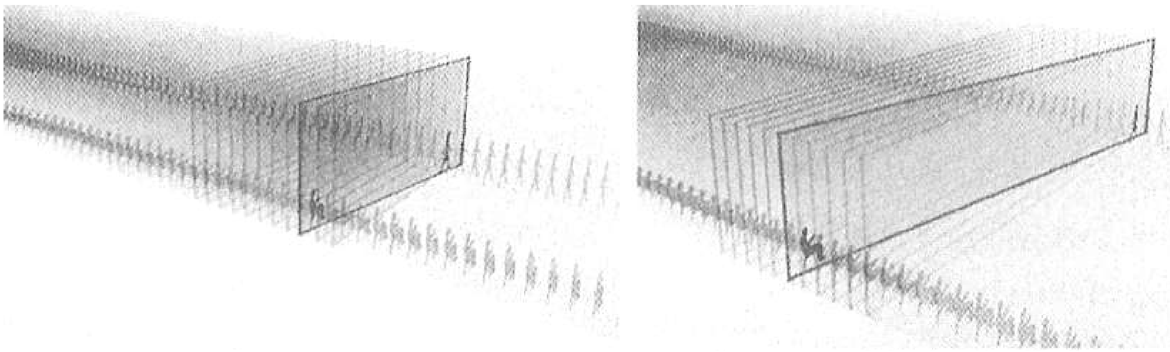
Aynı şey uzay-zaman için de doğrudur. Gündelik hızlarda birbirlerine göre hareket halinde olan gözlemciler için şimdiyi tanımlayan dilimler, birbirlerinden çok az farklı açılarda bulunurlar. Eğer iki gözlemci birbirine yakınsa, bunun neredeyse hiç etkisi olmaz. Ama tıpkı ekmek somununda olduğu gibi, etkilerine büyük uzaklıklardan bakıldığında, küçük açılar, dilimler arasında devasa uzaklıklar yaratırlar. Uzay-zaman dilimleri için, dilimler arasındaki büyük bir açı farkı, her gözlemcinin hangi olayın şimdi olduğunu göz önüne aldığı

konusunda çok büyük farklılıkların ortaya çıkmasına neden olur. Birbirlerine göre hareket halinde olan bireylerin, eğer birbirlerinden giderek uzaklaşıyorlarsa, sıradan, gündelik hızlarda bile gittikçe daha farklı şimdi kavramlarına sahip olacakları, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te gösterilmiştir.

Bunu daha iyi anlamak için Chewie'nin çok çok uzaktaki -Dünya dan 10 milyar ışık yılı uzaktaki- bir galakside bulunan gezegeninde, oturma odasında sakince oturmakta olduğunu düşünelim. Sizin (sakince oturuyor ve bu kelimeleri okuyorsunuz) ve Chewie'nin birbirinize göre hareket etmediğinizi de varsayalım (daha basit olsun diye gezegenlerin hareketini, evrenin genişlemesini, kütleçekimsel etkileri vb. göz ardı edelim). Birbirinize göre hareketsiz olduğunuz için siz ve Chewie, uzay ve zaman konularında tam anlamıyla aynı fikirdesiniz: Uzay-zamanı aynı şekilde dilimleyeceğiniz için şimdi-listeleriniz çakışacaktır. Kısa bir süre sonra Chewie kalkar ve yürüyüşe çıkar. Ağır adımlarla sizden uzağa doğru yürümeye başlar. Chewie'nin hareket durumundaki bu değişiklik, onun şimdi kavramının, onun uzay- zaman diliminin sizinkine göre küçük bir açıyla döneceği anlamına gelir (Şekil 5.3'e bakınız). Bu çok küçük açısal değişiklik Chewie'nin çevresinde gözlenebilir bir etki yaratmaz: Onun yeni şimdisi ile onun odasında oturmakta olan birininki arasındaki fark çok küçüktür. Ama aradaki 10 milyar ışık yıllık devasa uzaklık nedeniyle, Chewie'nin şimdi kavramındaki minik değişiklik çok büyür (Şekil 5.3a'dan 5.3b'ye geçer gibi, ama kahramanlarımız birbirinden çok uzakta olduğu için şimdileri arasındaki kayma vurgulanır). O sakin bir biçimde otururken aynı olan onun şimdisi ve sizin şimdiniz, bu küçük hareket nedeniyle birbirinden aniden farklılaşır.

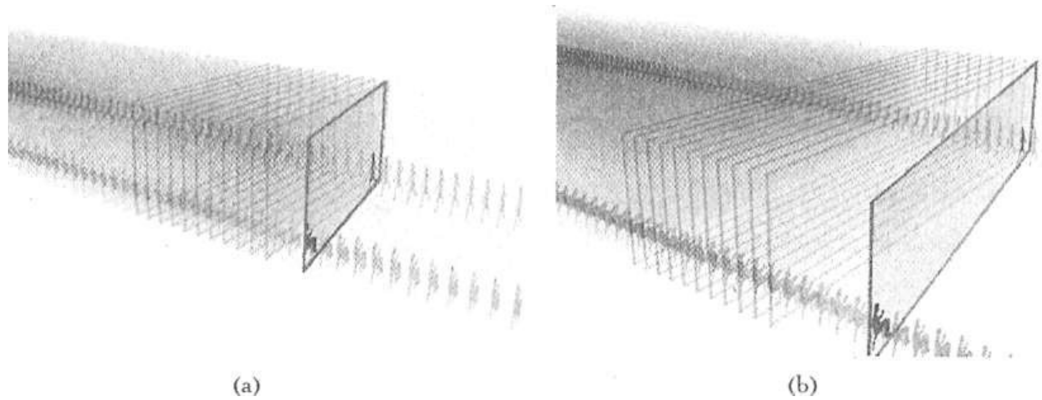


Şekil 5.2 (a) Sıradan bir somunda, çok küçük açı farklarıyla kesilen dilimler birbirinden çok ayrılmaz, (b) Ama somun büyüdükçe, aynı açı Farklarının yarattığı ayrılma daha büyük olur.



Şekil 5.3 (a) Birbirlerine göre hareketsiz olan iki birey, aynı şimdi kavramlarına, aynı zaman dilimlerine sahiptir. Eğer gözlemcilerden biri diğerinden uzaklaşırsa, zaman dilimleri -her gözlemcinin neyin şimdi olduğu konusundaki yargısı- birbirine göre döner; şekildeki hareketli gözlemcinin karartılmış şimdi dilimi, sabit gözlemcinin geçmişine doğru dönmüştür, (b) Gözlemciler arasındaki uzaklığın artması, dilimler arasında daha büyük bir sapmaya, onların şimdi kavramında daha büyük bir sapmaya yol açar.

Şekil 5.3 ve 5.4'te bu temel fikir şematik olarak gösterilmiştir. Özel göreliliğin denklemlerini kullanarak şimdilerinizin ne kadar farklı olacağını hesaplayabiliriz. Eğer Chewie sizden uzağa doğru saatte yaklaşık 15 kilometrelik bir hızla yürürse (Chewie gerçekten uzun adımlarla yürüyor) onun yeni şimdi-listesindeki olaylar, size göre 150 yıl önce olmuş olaylar olacaktır. Onun şimdi kavramına göre -ki her bir parçası sizinki kadar geçerlidir ve bir an öncesine kadar sizin şimdi kavramınızla tam bir uyum içindedir- siz daha doğmamışsınızdır. Eğer Chewie size doğru aynı hızda yürürse, açısal kayma Şekil 5.4'te görüldüğü gibi, öncekinin tersi olacak, onun şimdi kavramı sizin açınızdan 150 yıl sonra olacak olayları kapsayacaktır! Şimdi, onun şimdi kavramına göre, siz artık bu dünyanın bir parçası olamazsınız. Eğer yürümek yerine Chewie, saatte 1500 kilometre hızla giden (Concorde uçağının hızından daha az) bir Millenium Falcon'a binmiş olsaydı, onun şimdisi sizin perspektifinizden, size doğru veya sizden uzağa doğru gidiyor olmasına bağlı olarak 1500 yıl gelecekte veya 1500 yıl geçmişte olan olayları kapsayacaktı. Hareketin yön ve hızı uygun olarak seçilirse, Elvis ya da Charlemagne ya da Neron ya da Lincoln veya gelecekte doğacak birisi onun yeni şimdi-listesinde bulunabilir.



Şekil 5.4 (a) Şekil 5.3a'nın aynısı, tek fark, bir gözlemci diğerine göre hareket ettiğinde onun şimdi dilimi diğer gözlemcinin geçmişine doğru değil, geleceğine doğru döner, (b) 5.3b'nin aynısı -daha büyük uzaklık, şimdi kavramları arasında, aynı göreli hız için daha büyük sapmaya yol açar- dönme de geçmiş yerine geleceğe doğru olur.

Şaşırtıcı olsa da, bunların hiçbiri bir karşıtlık veya ikilem yaratmaz, çünkü yukarıda anlatıldığı gibi, bir şey ne kadar uzaktaysa, onun yaydığı ışığın alınması ve dolayısı ile onun belirli bir şimdi-listesine ait olduğunun belirlenmesi de o kadar uzun sürer. Örneğin, kalkıp saatte 14 kilometre hızla Dünya'dan uzağa doğru yürüdüğünde State Box at Ford 's Theatre a yaklaşmakta olan John Wilkes Booth, Chewie'nin şimdi-listesinde olsa da o, Başkan Lincoln ü kurtarmak için bir hareket yapamaz. Böylesine devasa bir uzaklıktan mesajların alınıp verilmesi de çok uzun zaman alacağı için, ancak milyarlarca yıl sonra Chewie'nin soyundan gelenler, Washington'daki o kader gecesinden çıkan ışığı alabileceklerdir. Önemli nokta şudur ki, Chewie'nin soyundan gelenler geçmişteki çok uzun şimdi-listelerini güncellemek için bu bilgiyi kullandıklarında, Lincoln suikastının Chewie'nin kalkıp Dünya'dan uzağa doğru yürüdüğü zamana ait şimdi- listesinde yer aldığını göreceklerdir. Onlar yine, Chewie'nin yürümeye başlamasından hemen önceki şimdi-listesinin, pek çok başka şeylerin yanı sıra, Dünya'nın yirmi birinci yüzyılında, sakince oturmuş bu kelimeleri okumakta olan sizi de kapsadığını göreceklerdir.

Benzer şekilde, 2100 yılındaki ABD başkanlık seçimlerini kimin kazanacağı gibi, geleceğimize ait olan ve tümüyle açık gibi görünen sorular vardır: Büyük olasılıkla o seçimlerde yarışacak adaylar ofislerine gitmek şöyle dursun, daha doğmamışlardır bile. Ama eğer Chewie sandalyesinden kalkıp Dünyaya doğru saatte 10,2 kilometre hızla yürürse, onun şimdi-dilimi -onun neyin var olduğu kavramı, onun neyin olduğu kavramı- yirmi ikinci yüzyılın ilk başkanının seçimini de kapsayacaktır. Bizim için henüz kararlaştırılmamış olan bir şey, onun için çoktan olup bitmiştir. Ama bizim televizyon sinyallerimizin ona ulaşması milyarlarca yıl alacağı için, Chewie de bu seçimin sonuçlarından milyarlarca yıl boyunca haberdar olmayacaktır. Ama seçim sonuçlarına ilişkin

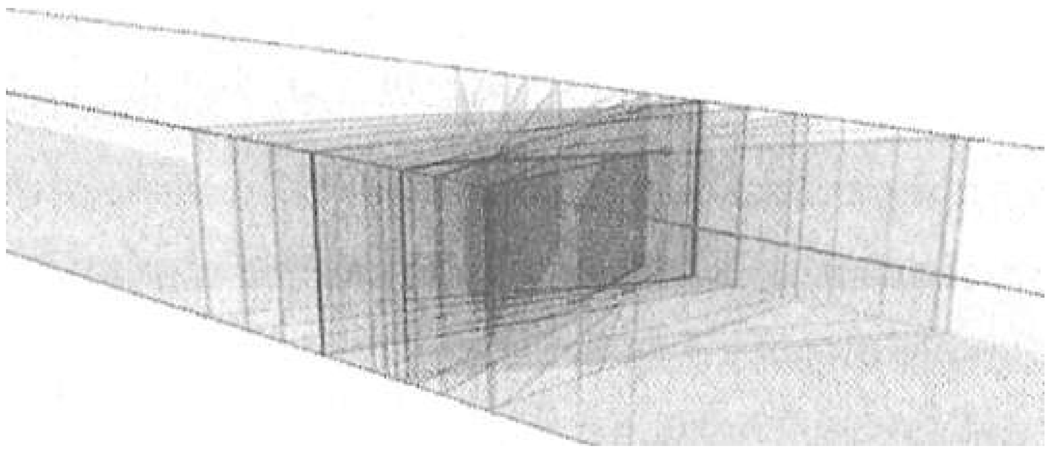
haber Chewie'nin soyundan gelenlere ulaşıp, onlar da bu bilgiyi kullanarak Chewie'nin tarihsel sinema- defterini, onun geçmişteki şimdi-listesini güncelledikleri zaman, seçim sonuçlarının, Chewie'nin kalkıp Dünyaya doğru yürümeye başladığı zamana ait olan şimdi-listesinde olduğunu bulacaklardır. Chewie'nin soyundan gelenler, bu şimdi-listesinin, Dünya'nın yirmi birinci yüzyılının ilk yıllarında, bu paragrafı bitiren sizi içeren listeden bir an sonraki liste olduğunu göreceklerdir.

Bu örnek, iki önemli noktayı aydınlatıyor. Bunlardan ilki, her ne kadar göreliliğin etkilerinin ışık hızına yakın hızlarda görünür olmaya başladığı fikrine alışmış olsak da, uzayda büyük uzaklıklar göz önüne alındığında, düşük hızlarda bile görelilik etkileri çok büyüyebilir. İkincisi, bu örnek uzay-zamanın (somunun) gerçekten bir varlık mı yoksa yalnızca soyut bir kavram, şimdi ile birlikte geçmişi ve geleceği de kapsayan uzayın soyut bir birliği mi olduğu konusunda fikir vermektedir.

Gördüğünüz gibi Chewie'nin gerçeklik kavramı, zihinsel donmuş-görüntüsü veya şimdi neyin var olduğu kavramı, onun için, bizim gerçeklik kavramımızın bizim için gerçek olduğu kadar gerçektir. Bu nedenle gerçekliği neyin oluşturduğu konusunu değerlendirirken, onun perspektifini de kapsamamamız, olağanüstü dar görüşlülük olurdu. Newton için böylesi eşitlikçi bir yaklaşım en küçük bir fark bile yaratmazdı, çünkü, uzayın ve zamanın mutlak olduğu bir evrende herkesin şimdi-dilimleri çakışırdı. Ama göreli bir evrende, bizim evrenimizde, çok büyük bir fark yaratır. "Şimdi neyin var olduğu" yolundaki alışılmış kavram tek bir şimdi-dilimi olsa da -biz genellikle geçmişe "olup bitmiş", geleceğe de "henüz gelmemiş" gözüyle baktığımız için- bu görüntüye, Chewie'nin şimdi-dilimini, yukarıdaki tartışmanın gösterdiği gibi, bizimkinden çok farklı olabilecek olan bir şimdi- dilimini de eklemeliyiz. Dahası, Chewie'nin başlangıçtaki konu mu ve hareket hızı rasgele olduğu için, bütün olasılıklarla ilişkili olan şimdi-dilimlerini de eklemeliyiz. Bu şimdi-dilimleri, yukarıda tartışıldığı gibi, Chewie'nin -veya bir başka gerçek ya da hayali gözlemcinin- başlangıç konumunu merkez alır ve seçilen hıza bağlı olan bir açıyla dönerler. (Tek sınırlama, ışık tarafından konan hız sınırıdır ve yukarıda anlatıldığı gibi, bizim kullandığımız grafik gösterimde bu, saat yönünde veya saat yönünün tersine 45 derecelik bir dönme açısına karşılık gelir.) Şekil 5.5'te göreceğiniz gibi, bütün bu şimdi-dilimleri toplamı, uzay-zaman somununda oldukça büyük bir bölgeyi doldurur. Aslında, eğer uzay sonsuzsa -eğer şimdi-dilimleri sonsuza kadar uzanıyorsa- o zaman, dönmüş şimdi-dilimleri rasgele uzaklıktaki bir noktayı merkez alabilir ve bu nedenle de bunların birleşimleri, uzay- zaman somunundaki her noktayı süpürür. "

Bu nedenle: Eğer gerçekliğin sizin şu andaki zihinsel donmuş- görüntünüz deki şeylerden oluşmakta olduğu kavramını kabul ederseniz ve eğer sizin

şimdinizin çok uzakta bulunan ve serbestçe hareket edebilen bir gözlemcinin şimdisinden daha geçerli olmadığı konusunda hemfikirseniz, o zaman gerçeklik uzay- zamandaki tüm olayları kapsar.



Dünya dan değişik uzaklıklarda bulunan ve değişik hızlarla hareket eden çeşitli gözlemciler için (gerçek ya da hayali) zaman dilimleri örneği Somunda herhangi bir noktayı alın. Bu noktadan geçen ve bizim şu andaki şimdi dilimimizi 45 dereceden daha küçük bir açıyla kesen bir dilim çizin. Bu dilim, Chewie gibi, başlangıçta bize uzak bir noktada hareketsiz olan, ama şimdi bize göre ışık hızından daha yavaş hareket eden bir gözlemcinin şimdi-dilimi -gerçekliği- olur. Tasarım nedeniyle bu dilim, almış olduğunuz somundaki (rasgele) noktayı kapsar.

Somunun bütünü vardır. Nasıl bütün uzaya gerçekliğin orada olduğu, gerçekten var olduğu gözüyle bakıyorsak, zamanın bütününe de gerçekliğin orada olduğu, gerçekten var olduğu gözüyle bakmalıyız. Geçmiş, günümüz ve gelecek elbette farklı varlıklarmış gibi görünürler. Ama bir zamanlar Einstein'ın söylediği gibi, Biz ikna olmuş fizikçiler için geçmiş, günümüz ve gelecek arasındaki fark yalnızca ısrarlı bir yanılsamadan ibarettir." Gerçek olan tek şey, uzay-zamanın tamamıdır.

Yaşananlar ve Zamanın Akışı

Bu düşünüş biçimine göre, olaylar, herhangi bir perspektiften bakıldığında ne zaman olduklarından bağımsız olarak, öyledirler. Tamamı vardır. Uzay-zaman içindeki kendi belirli noktalarını sonsuza kadar doldururlar. Akış yoktur. Eğer 1999 yılbaşı gece yarısında çok eğleniyor idiyseniz, hâlâ öylesiniz. Çünkü bu uzay-zamanda değişmez bir konumdur. Dünyaya bakışımız kesin bir şekilde geçmiş, günümüz ve gelecek olarak ayrıldığı için bunu kabullenmek güçtür.

Ama bu zamansal şemaya dikkatle bakar ve onu modern fiziğin katı, soğuk gerçekleriyle karşılaştırırsak, bu, insan aklının sınırları içinde sığınılacak son nokta gibi görünmektedir.

İnkar edilemeyecek şekilde, bilinçli yaşantımız dilimleri süpürür gibi görünmektedir. Sanki aklımız, daha önce sözü edilen projektör ışığını sağlamaktadır, öyle ki, zaman anları bilinç gücüyle aydınlatıldıkça hayata gelirler. Bir andan diğerine akma hissi, düşüncelerimiz, hissettiklerimiz ve algıladıklarımızdaki değişikliklerin bilinçli bir şekilde tanınmasından, kabullenilmesinden kaynaklanır. Değişme dizisi sürekli bir hareket içindeymiş gibi, tutarlı bir öyküye açılıyormuş gibi görünür. Ama -psikolojik veya nörobiyolojik kesinlikte herhangi bir hile olmaksızın- gerçekten böyle bir şey olmayabileceği halde, böyle bir zaman akışını nasıl yaşamış olabileceğimizi göz önünde canlandırabiliriz. Ne demek istediğimi anlayabilmek için, rasgele bir ileri, bir geri atlamalar yapan bozuk bir DVD oynatıcıda Rüzgâr Gibi Geçti filmini izlediğinizi düşünün: Ekranda bir an görüntülenen sabit bir film karesini filmin bambaşka bir yerinden bir sabit film karesi takip ediyor olsun. Bu karmakarışık filmi izlediğinizde ne olup bittiğini anlamanız çok zor olacaktır. Ama Scarlett ve Rhett'in bir sorunları yoktur. Her karede, o karede her zaman ne yapıyorlarsa gene aynı şeyleri yapmaktadırlar. Eğer belirli bir karede DVD'yi durdurup onlara düşüncelerini ve anılarını sorabilseydiniz, sorularınızı tıpkı düzgün çalışan bir DVD oynatıcıda olacağı şekilde yanıtlayacaklardı. Eğer onlara İç Savaşta oradan oraya sıçramanın akıl karıştırıcı olup olmadığını sormuş olsaydınız, size şaşkınlıkla bakacaklar ve içkiyi fazla kaçırmış olduğunuz izlenimini edineceklerdi. Belirli her karede, o karede her zaman sahip oldukları düşüncelere ve anılara sahip olacaklar, bu düşünce ve anılar da onlara, zamanın alışıldığı gibi, düzgün ve tutarlı bir biçimde akmakta olduğu hissini verecekti.

Benzer şekilde, uzay-zamandaki her an -her zaman dilimi- bir film şeridindeki her sabit film karesi gibidir. Bir ışık onu aydınlatsa da, aydınlatmasa da vardır. Size göre böyle bir anda bulunan Scarlett ve Rhett'e gelince, bu şimdidir, o anda yaşadığınız andır. Her zaman öyle olacaktır. Dahası, her bir dilimde düşünce ve anılarınız, zamanın o ana kadar sürekli bir şekilde aktığı duygusuna yol açacak derecede zengindir. Zamanın akmakta olduğu duygusu, daha önceki anların -önceki karelerin- "sırayla aydınlatılmalarını" gerektirmez.

Ve bu konuda biraz düşünürseniz, bunun çok iyi bir şey olduğunu fark edersiniz, çünkü belirli anları sırayla aydınlatarak hayata getiren projektör ışığı kavramı, çok daha temel bir başka nedenden ötürü sorunludur. Eğer projektör ışığı işini düzgün bir biçimde yaparak belirli bir anı -diyelim 1999 yılbaşı gece yarısı anını- aydınlatırsa, bu an karanlığa gömüldüğünde ne anlamı olacaktır?

Eğer bu an aydınlıksa, o zaman, aydınlatılmış olmak, o anın bir özelliği, o anda gerçekleşen başka her şey kadar ölümsüz ve değişmez bir özelliği olacaktır.

Aydınlatılmayı yaşamak -"hayatta olmak", var olmak, şimdi olmak- ve daha sonra karanlığı yaşamak -uykuda olmak, geçmiş olmak, idi olmak- değişimi yaşamaktır. Ama değişim kavramı, zamanda tek bir ana göre bir şey ifade etmez. Değişim zaman içinde olmak zorundadır, değişim zamanın geçişini gösterir ama bu zaman kavramı ne olabilir? Tanım gereği, anlar zamanın -en azından bizim haberdar olduğumuz zamanın- geçişini içermezler, çünkü anlar öyledir, zamanın hammaddesidir, değişmezler. Nasıl belirli bir konum uzayda hareket edemezse, belirli bir an da zamanla değişemez: Eğer konum hareket ederse o artık uzayda başka bir konumdur; eğer zaman içinde bir an değişirse, artık farklı bir an olur. Her yeni şimdiyi hayata getiren projektör ışığının sezgisel görüntüsü, dikkatli bir sınavdan geçmemiştir. Her an aydınlatılır ve her an aydınlatılmış olarak kalır. Her an öyledir. Eğer dikkatli bakılırsa, akmakta olan zaman nehri, her anın içinde sonsuza kadar donmuş olarak yer aldığı dev bir buz bloğuna daha çok benzer.

Bu zaman kavramı, çoğumuzun içselleştirebildiği kavramdan önemli ölçüde farklıdır. Kendi önsezilerinden doğmuş olsa da, Einstein, perspektifteki böylesi çok derin değişiklikleri tam olarak özümseyebilecek kadar katılaşmamıştı. Rudolf Carnap, bu konuda Einstein ile yapmış olduğu harika bir konuşmadan şöyle söz ediyor: "Einstein, şimdi probleminin kendisini ciddi şekilde endişelendirdiğini söylüyordu. Şimdiyi yaşamanın bir insan için özel bir şey, geçmiş ve gelecekten temel olarak farklı bir şey olduğunu ama bu önemli farkın fizik içinde ortaya çıkmayacağını ve çıkamayacağını açıklıyordu. Bu deneyimin bilimle anlaşılamayacak olması, ona acılı ama kaçınılmaz bir vazgeçiş gibi görünmüştü."

Bu vazgeçiş, çok önemli bir soruyu yanıtsız bırakır: Acaba bilim, insan aklının, ciğerlerin havayı kucaklar gibi kucakladığı zamanın temel niteliğini kavrayamıyor mu, yoksa insan aklı zamana kendi yapısı olan bir şeyi, yapay ve bu yüzden de fizik yasalarında yer almayan bir şeyi mi dayatmaya çalışıyor? Bu soruyu bana bir iş gününde sormuş olsaydınız, ikinci perspektifi benimserdim ama gece olunca, kritik düşünce şekli hayatın sıradan, normal akışına dönüştüğünde, ilk bakış açısına tüm gücünüzle direnmeniz zordur. Zaman derin bir konudur ve onu tam olarak anlamaktan çok uzağız. Önsezili bir insanın günün birinde zamana yeni bir bakış getirmesi ve akan zamana gerçek bir temel ortaya çıkarması olasıdır. O zaman yine, mantık ve görelilik üzerinde temellenen yukarıdaki tartışmanın, öykünün tamamı olduğu ortaya çıkabilir. Elbette, zamanın aktığı duygusu yaşamımızda derinden kökleşmiştir ve hem düşünüşümüze, hem de dilimize her anlamda hakim olmaktadır. O kadar ki, zamanın akışına atıfta bulunan tanımlar konusunda dil hatalarına alışkanlık olarak

düşmüşüzdür ve düşmeye de devam edeceğiz. Ama dili gerçeklikle karıştırmayın. İnsan dili derin fiziksel yasaları ifade etmekten çok insanın günlük yaşantılarını ifade etmeye çok daha yatkındır.

VI. Bölüm – Olasılık ve Ok

Zamanın Bir Yönü Var mı?

Zaman akmıyor olsa bile, zamanın bir okunun olup olmadığı, olayların zaman içinde geliştiği ve fizik yasalarınca ayırt edilen bir yön bulunup bulunmadığı sorusu hâlâ anlamlıdır. Bu soru, olayların uzay-zaman içine nasıl serpiştirildiğine ilişkin esas bir yön olup olmadığı, olayların bir diziliş şekliyle ters diziliş şekli arasında temel bir bilimsel değişiklik olup olmadığı sorusudur. Herkesin bildiği gibi, elbette bu türden devasa bir fark var gibi görünüyor; yaşamı olası kılan ve yaşamayı dokunaklı yapan da budur. Yine de, birazdan göreceğiniz gibi, geçmiş ve gelecek arasındaki farkı ayırt etmek, sandığınızdan daha zordur. Bulacağımız sonuç, evrenin ortaya çıkışındaki olmadığı sorusudur. Herkesin bildiği gibi, elbette bu türden devasa bir fark var gibi görünüyor; yaşamı olası kılan ve yaşamayı dokunaklı yapan da budur. Yine de, birazdan göreceğiniz gibi, geçmiş ve gelecek arasındaki farkı ayırt etmek, sandığınızdan daha zordur. Bulacağımız sonuç, evrenin ortaya çıkışındaki olmadığı sorusudur. Herkesin bildiği gibi, elbette bu türden devasa bir fark var gibi görünüyor; yaşamı olası kılan ve yaşamayı dokunaklı yapan da budur. Yine de, birazdan göreceğiniz gibi, geçmiş ve gelecek arasındaki farkı ayırt etmek, sandığınızdan daha zordur. Bulacağımız sonuç, evrenin ortaya çıkışındaki koşullara sıkı sıkıya bağlıdır.

Bilemece

Deneyimlerimiz bize, günde belki bin defa, olayların zaman içinde bir yoldan veya tersinden oluşumları arasındaki farkı gösterir. Domino's Pizza'dan dumanı tüterken aldığınız pizza eve gelirken soğur, fırından çıkardığınız andan itibaren gittikçe ısınan bir pizza yoktur. Kahveye kattığınız süt açık kahverengi bir sıvı oluşturur, ters yönde karıştırıldığında koyu renkli kahve ve beyaz renkli sütü ayrışan bir sütlü kahve göremezsiniz. Yumurtalar düşer, kırılır ve dağılır. Ama dağılmış bir yumurtanın tekrar kabuğunun içine toplanarak sağlam bir yumurta oluşturduğunu hiçbir zaman göremezsiniz. Kapağını açtığınızda Coca Cola şişenizin içindeki sıkıştırılmış karbon dioksit gazı sıvıdan kabarcıklar

halinde çıkar, ama dağılmış karbon dioksit gazının toparlanıp kabarcıklar halinde sıvının içine girip eridiğini hiçbir zaman göremezsiniz. Oda sıcaklığındaki bir bardak suya atılan buz küpleri erirler ama oda sıcaklığındaki bir bardak suyun içinde birtakım küreciklerin bir araya gelerek buz oluşturduğunu hiçbir zaman göremezsiniz. Bu yaygın olaylar dizisi, sayısız başka olaylar gibi yalnızca tek bir zamansal sırada ortaya çıkar. Hiçbir zaman ters sırada olmaz, böylece de önce ve sonra kavramlarını oluşturur, bize tutarlı ve görünüşe bakılırsa evrensel geçmiş ve gelecek kavramları sağlarlar. Bu gözlemler bizi, eğer uzay-zamana (Şekil 5.1 de olduğu gibi) dışarıdan bakabilseydik, zaman ekseni boyunca önemli bir asimetri olduğunu göreceğimiz yolunda ikna eder. Dünyadaki tüm kırılmış yumurtalar, kırılmamışlara göre gelecek adını verdiğimiz yönde bulunacaklardır.

Belki hepsinin arasındaki en sivri örnek şudur: Zihnimiz geçmiş dediğimiz yöne ait pek çok olaya -anılarımız- ulaşabilir gibi görünüyorken, gelecek dediğimiz yöne ait hiçbir olayı hatırlayanımız yoktur. Bu nedenle geçmiş ve gelecek arasında büyük bir fark varmış gibi göründüğü ortadadır. Olağanüstü çok sayıdaki çeşitli olayların zaman içindeki gelişimlerinin bir şekilde yönlendiği açıktır. Hatırlayabileceğimiz şeylerle (geçmiş) hatırlayamayacağımız şeyler (gelecek) arasında bir yöneliş var gibidir. Zamanın bir yönelişi, yönü veya oku olduğunu söylerken anlatmak istediğimiz şey budur.

Fizik ve daha genel olarak bilim, düzenlilikler üzerine kuruludur. Bilim insanları doğayı inceler, bazı desenler keşfeder ve bu desenleri çözerek doğa yasalarını ortaya çıkarırlar. Bu nedenle, zamanın görünür bir oku olduğunu algılamamıza neden olan çok büyük sayıdaki düzenliliklerin, temel bir doğa yasasının kanıtları olduğunu düşünebilirsiniz. Böyle bir yasayı formüle etmenin en saçma yolu, sütün döküleceği, asla geri toplanıp bardağa dolmayacağını bildiren Dökülen Süt Yasası'nı veya yumurtaların kırılacağı ve asla gerisin geriye bütünleşmeyeceğini bildiren Kırılan Yumurtalar Yasası'nı ortaya atmaktır. Böyle bir yasa bize hiçbir şey kazandırmaz: Yalnızca tanımsaldır ve ne olduğunun basitçe gözlenmesinin ötesinde pek bir açıklama önermez. Ama fiziğin derinliklerinde bir yerde pizzayı, sütü, yumurtaları, kahveyi, insanları ve yıldızları oluşturan parçacıkların -her şeyin temel bileşenlerinin- hareketlerini ve özelliklerini tanımlayan ve olayların neden hep aynı yönde geliştiğini ama hiçbir zaman bunun tersi olmadığını gösteren daha az saçma bir yasa bulunduğunu

umuyoruz. Böyle bir yasa, gözlenen zaman okuna temel bir açıklama getirir.

Şaşırtıcı olan şu ki, hiç kimse böyle bir yasa keşfetmemiştir. Dahası, Newton, Maxwell ve Einstein tarafından eklemeler yapılan fizik yasaları, günümüze kadar geçmişle gelecek arasında tam bir simetri* göstermektedir. Bu yasalardan hiçbirinin hiçbir yerinde zamanın bir yönüne uygulanıp diğerine uygulanamayacağı yolunda bir koşul bulamazsınız. Hiçbir yerde bu yasaların, zamanın bir yönüne ya da diğerine uygulandıklarında nasıl göründükleri veya nasıl davrandıkları anlamında bir fark yoktur. Yasalar, geçmiş ve gelecek adını verdiğimiz yönlere eşit davranırlar. Deneyimlerimiz olayların zaman içinde nasıl geliştiğini gösteren bir ok olduğunu defalarca göstermiş olsa bile, bu ok fizik yasalarının içinde bir yerde yokmuş gibi durmaktadır.

Geçmiş, Gelecek ve Fiziğin Temel Yasaları

Bu nasıl olabilir? Fizik yasaları geçmişi gelecekten ayıran hiçbir belirti sağlamıyor mu? Nasıl olur da olayların bu sırayla gelişeceğini, asla bunun tersi olmayacağını gösteren bir fizik yasası bulunmaz?

Durum göründüğünden daha da çapraşıktır. Bilinen fizik yasaları aslında -bizim yaşam deneyimlerimizin tersine- sütlü kahvedeki sütün kahveden ayrılabileceğini; dağılmış yumurtanın toparlanıp yeniden yapışan kabuğunun içine dolarak hiç kırılmamış, düzgün bir yumurtaya dönüşebileceğini; oda sıcaklığındaki bir bardak suda erimiş olan buzların yeniden buz haline gelebileceğini; koladan çıkan gazın yeniden şişenin içindeki sıvıda eriyebileceğim göstermektedir. Saygı gösterdiğimiz bütün fizik yasaları zaman-tersinme simetrisi olarak bilinen durumu tümüyle desteklerler. Bu, eğer bir olaylar dizisi bir zaman sıralamasına göre oluyorsa (süt ve kahve karışır, yumurtalar kırılır, gaz dışarı kaçar) o zaman bu olaylar dizisi ters yönde de gelişebilir (süt ve kahve ayrışır, yumurta toplanarak yapışır, gaz yeniden şişeye dolar) demektir. Birazdan bu konuyu daha da açacağım ama eğer bir cümleyle özetlemek gerekirse, bilinen yasalar bazı olayların neden yalnızca belirli bir sırada geliştiğini açıklayamamakla kalmaz, kuramsal olarak bu olayların ters sırada gelişebileceğini de söyler.

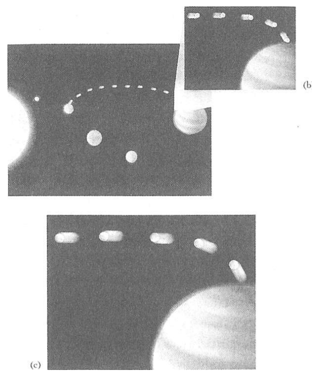
Buradaki kritik soru şudur: Böyle olayları neden hiç göremiyoruz? Sanırım hiç kimsenin kırılıp dağılmış bir yumurtanın kendiliğinden tekrar toparlanıp yapıştığını görmediği büyük bir güvenle iddia edilebilir. Ama eğer fizik yasaları buna izin veriyorsa, üstelik bu yasalar yumurtanın dağılmasına ve toparlanmasına eşit davranıyorsa, o zaman neden bunlardan her zaman biri oluyor da diğeri hiçbir zaman olmuyor?

Zaman Tersinmesi Simetrisi

Bu bilmeceyi çözmeye doğru atılacak ilk adım olarak, bilinen fizik yasalarının zaman tersinmesi açısından simetrik olduklarının ne demek olduğunu daha sağlam bir şekilde anlamamız gerekir. Şimdi, yirmi birinci yüzyılda olduğunuzu ve yeni gezegenler arası ligde rakibiniz olan Coolstroke Williams'la tenis oynadığınızı hayal edin. Venüs'ün düşük kütleçekimine alışık olmayan Coolstroke müthiş bir ters vuruşla (backhand) topu uzayın karanlık derinliklerine gönderir. Oradan geçmekte olan bir uzay mekiği, yanlarından geçmekte olan topu filme alır ve filmi yayınlanmak üzere CNN'e (Celestial News Network, Uzay Haberleri Ağı) gönderir. Şimdi soruyu soralım: Eğer CNN yayın teknisyenleri bir hata yapıp filmi ters oynatırlarsa bunu anlamanın bir yolu var mıdır? Elbette eğer film çekilirken kameranın yönü ve duruş şeklini biliyorsanız yayıncıların hatasını ortaya çıkarabilirsiniz. Ama acaba bu hatayı yalnızca filmi izleyerek, ek bir bilgi olmaksızın ortaya çıkarmak olası mıdır? Cevap hayırdır. Eğer doğru (ileri yönde) zaman yönünde top soldan sağa doğru gidiyorsa, ters zaman yönünde sağdan sola gider. Elbette klasik fizik yasaları tenis toplarının soldan sağa veya sağdan sola gitmelerine izin verir. Bu nedenle film ileri zaman yönünde veya geri zaman yönünde oynatılırken gördüğünüz hareket fizik yasalarıyla tam olarak uyumludur.

Şu ana kadar top üzerinde herhangi bir kuvvet olmadığını, onun için de topun sabit hızla hareket ettiğini varsaydık. Şimdi işin içine kuvvetleri de katarak daha genel durumu göz önüne alalım. Newton a göre kuvvetin etkisi, bir cismin hızını değiştirmektir: Kuvvet ivme yaratır. Şimdi de bir süre uzayda sabit hızla hareket ettikten sonra topun Jüpiter'in kütleçekimi alanı taralından yakalandığını ve Şekil 6.1a ve 6.1b de olduğu gibi, topun gittikçe artan bir hızla sağa doğru bir eğri çizerek Jüpiter'in yüzeyine doğru düşmeye başladığını hayal edin. Eğer bu filmi geri oynatırsanız, tenis topu, Şekil 6.1 c'deki gibi, Jüpiter'in yüzeyinden sola ve yukarı doğru bir eğri

üzerinde hareket ediyormuş gibi görünecektir. Yeni sorumuz şudur: Klasik fizik yasaları geri oynatılan filmin gösterdiği harekete -gerçek filmin geri oynatılan hali- izin verir mi? Bu, gerçek dünyada olabilecek bir hareket midir? İlk bakışta cevap açık bir şekilde evetmiş gibi görünür: Tenis topları sağa ve aşağı doğru veya sola ve yukarı doğru eğriler üzerinde veya bu anlamda sayısız başka yörüngeler üzerinde de hareket edebilirler. O zaman buradaki zorluk nedir? Cevap her ne kadar evet olsa bile, bu mantık aceleci olup sorunun gerçek amacını gözden kaçırmaktadır.



Şekil 6.1 (a) Venüs'ten Jüpiter'e uçan bir tenis topu (b) yakın bir görünüm (c) Jüpiter'e çarpmadan önce topun hızı ters çevrildiğinde yaptığı hareket.

Filmi geri oynattığınızda tenis topunun Jüpiter'in yüzeyinden fırladığını, yukarı ve sola doğru, gezegenin yüzeyine düşerken sahip olduğuyla aynı hızda (ama tam ters yönde) hareket ettiğini görürsünüz. Filmin bu ilk bölümü fizik yasalarıyla elbette uyumludur: Örneğin birisinin tenis topunu Jüpiter'in yüzeyinden tam bu hızla fırlattığını düşleyebiliriz. Temel soru, geri oynatılan filmin kalan bölümünün de fizik yasalarıyla uyumlu olup olmadığıdır. Bu ilk hızla fırlatılan -Jüpiter'in aşağıya çeken kütleçekiminin etkisi altındaki- top gerçekten geri oynatılan filmin gösterdiği yörüngede mi hareket eder? Aşağıya doğru olan özgün yörüngesini ters yönde mi izler?

Bu çok daha rafine sorunun cevabı evettir. Herhangi bir kafa karışıklığından kaçınmak için yeniden üzerinden gidelim. Şekil 6.l a'da Jüpiter'in kütleçekiminin henüz belirgin bir etkisi yokken, top sağa doğru gidiyordu. Sonra, Şekil 6.1 b de Jüpiter'in büyük kütleçekimi kuvveti topu yakalayarak gezegenin merkezine doğru çekmeye başladı; bu çekimin yönü, şekilde görüleceği gibi, genelde aşağıya doğru olmakla birlikte, kısmen sağa doğrudur da. Bu da, top Jüpiter'in yüzeyine yaklaştıkça sağa doğru olan hızının bir miktar arttığı, ama aşağıya doğru olan hızının çok

daha fazla arttığı anlamına gelir. Bu nedenle, geri oynatılan filmde topun Jüpiter yüzeyinden fırlatılma yönü, Şekil 6. l c'de görüldüğü gibi, kısmen sola doğru olmakla birlikte asıl yukarı doğrudur. Bu başlangıç hızıyla Jüpiter'in kütleçekimi, topun sola doğru olan hızını biraz yavaşlatmakla birlikte, asıl etkisini, lopun yukarı doğru olan hızını gittikçe daha çok yavaşlatarak gösterir. Yukarı doğru olan hız gittikçe yavaşlarken, topun hareketi sola doğru olan hızdan gittikçe daha fazla etkilenerek topun sola ve yukarıya doğru eğri bir yörünge üzerinde hareket etmesine neden olur. Bu eğrinin sonuna doğru kütleçekimi yukarıya doğru olan hareketi ve Jüpiter'in kütleçekiminin top aşağıya giderken topa verdiği sağa doğru ek hızı tamamen durdurarak, topun başlangıçtaki yaklaşırken sahip olduğu hızıyla, tümüyle sola doğru gitmesine neden olur.

Tüm bu çözümleme sayılara dökülebilir ama dikkat edilmesi gereken nokta, bu yörüngenin topun özgün hareketinin tam tersi olmasıdır. Topun hızını Şekil 6.1 c'deki gibi basit bir biçimde tersine çevirerek -aynı hızla ama ters yönde harekete başlamasını sağlayarak- topun özgün yörüngesini aynen ama ters yönde izlemesi sağlanabilir. Filmi tekrar tartışmaya açarsak, sola ve yukarı doğru kıvrılan bu yörünge -Newton'un hareket yasaları üzerine temellendirilen mantık sonucu şekillendirdiğimiz yörünge- filmi geri oynattığımızda göreceğimizin aynısı olur. Dolayısıyla, geriye doğru oynatılan bir filmin gösterdiği gibi, topun zaman-tersinme hareketi, zamanın ileri doğru aktığı bir hareket kadar fizik yasalarına uyar. Filmi geri oynattığımızda gördüğümüz hareket gerçek dünyada gerçekten olabilir.

Her ne kadar, sondaki notlarda sözünü ettiğim bazı karışıklıklar varsa da, bu sonuç geneldir. Harekete ilişkin bilinen ve kabul edilmiş olan bütün yasalar, Newton'un biraz önce tartıştığımız mekaniğinden Maxwell'in elektromanyetik kuramına, Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramına kadar (kuantum mekaniğini gelecek bölüme kadar bir yana koyduğumuzu hatırlayın) zaman-tersinmesi simetrisini somutlaştırır: Normalde olduğu gibi ileriye doğru akan zamanda olan hareket, ters yöne akan zamanda da olabilir. Terminoloji biraz kafa karıştırıcı olabileceği için, zamanı tersine çevirmediğimizi bir kere daha vurgulamak isterim. Zaman her zaman yaptığını yapıyor. Burada bulduğumuz sonuçsa şudur: Bir cismin hızını yörüngesinin herhangi bir noktasında tersine çevirerek o cismin yörüngesini tersine izlemesini sağlayabiliriz. Eşdeğer olarak, aynı süreç -bir cismin hızını yörüngesinin herhangi bir noktasında tersine çevirmek- bu cismin geri oynatılan bir filmde görülen hareketi yapmasını sağlar.

Tenis Topları ve Dağılan Yumurtalar

Bir tenis topunun Venüs'le Jüpiter arasında -her iki yönde de- gitmesini izlemenin özel olarak ilginç bir yanı yoktur. Ama ulaştığımız sonuç geniş bir biçimde uygulanabilir olduğundan, şimdi daha heyecan verici bir yere gideceğiz: Mutfağa. Mutfak tezgâhının üzerine bir yumurta koyun, kenara doğru yuvarlayın ve bırakın yere düşüp kırılsın. Elbette bu olay dizisinde pek çok hareket vardır. Yumurta düşer. Kabuk kırılır. Yumurta akı ve sarısı oraya buraya saçılır. Yer döşemesi titrer. Çevredeki hava içinde hava akımları oluşur. Sürtünme ısı üretir, bu da yumurtadaki, havadaki ve yerdeki moleküllerin daha hızlı hareket etmelerine neden olur. Ama bir tenis topunun yörüngesini ters yönde izlemesi için ne yapmamız gerektiğini söyleyen fizik yasaları, aynı zamanda her yumurta kabuğu parçasının, yumurta akı ve sarısının her damlasının, döşemenin her bölümünün ve her hava paketçiğinin tam ters yörüngeyi izlemesi için ne yapmamız gerektiğini de bildirir. "Bütün" yapmamız gereken, dağılan maddenin her bileşeninin hızını ters yöne çevirmektir. Daha kesin konuşmak gerekirse, tenis topunda kullanılan mantık, varsayımsal olarak, yumurtanın dağılmasıyla doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkili olan bütün atom ve moleküllerin hızlarını ters çevirmenin mümkün olması durumunda, bütün kırılıp dağılma sürecinin tersine döneceğini ima eder.

Yine, tenis topunda olduğu gibi, eğer bütün bu hızları tersine çevirmeyi başarabilseydik, geri oynatılan filme benzeyen bir şey görürdük. Ama tenis topunun aksine, kırılan yumurtanın tersine hareketi olağanüstü etkileyici olurdu. Birbirini itekleyen hava moleküllerinden oluşan bir dalga ve minik yer titreşimleri mutlağın her yerinden yumurtanın yere çarptığı noktaya üşüşerek her kabuk parçasının ve her yumurta akı damlasının kırılma noktasına doğru gitmesini sağlar. Her bileşen, özgün kırılma olayındaki ile aynı hızda ama tam ters yönde hareket eder. Her yumurta damlası küresel bir oluşuma katılmak üzere uçarken her kabuk parçası da bu kürenin etrafını saran düzgün bir kabuk oluşturmak üzere ilerler. Hava ve yer titreşimleri, birleşen yumurta damlaları kabuk parçalarıyla birlikte çalışarak yeni oluşan yumurtanın yerden fırlayarak mutfak tezgâhının kenarına yavaşça konmasını ve birkaç santimetre yuvarlanarak durmasını sağlarlar. Eğer tüm- bileşenlerin her parçasının hızlarının tam olarak tersine dönmesini sağlayabilseydik, olup bitenler bunlar olurdu.

Bu nedenle olay ister bir tenis topunun bir eğri üzerinde hareketi kadar basit, isterse kırılan bir yumurta kadar karmaşık olsun, fizik yasaları

zamanın bir yönünde olan bir şeyin, en azından ilke olarak, zamanın diğer yönünde de olabileceğini gösterir.

İlke ve Pratik

Tenis topunun ve yumurtanın öyküleri doğa yasalarındaki zaman-tersinmesi simetrisinin gösterilmesinin ötesinde de işler yaparlar. Bunlar aynı zamanda, gerçek yaşam dünyasında neden birçok şeyin her zaman aynı yönde olduğunu gördüğümüzü, neden hiçbir zaman ters yönde olduğunu görmediğimizi de açıklar. Tenis topunun yörüngede tersine hareket etmesini sağlamak zor değildir. Topu tutar ve ters yönde aynı hızla fırlatırız. Bu kadar. Ama kırılan yumurtanın son derece karmaşık (kaotik) hareketlerini tersine çevirmek olağanüstü zordur. Her parçayı tutup, eşanlı olarak ters yönde ve aynı hızla fırlatmamız gerekir. Bunun, bizim (ve kralın bütün atlarıyla bütün adamlarının) gerçekten yapabileceğimizin ötesinde olduğu ortadadır.

Aradığımız cevabı bulduk mu? Fizik yasaları her iki harekete de izin verdiği halde, yumurtaların kırılmalarının ama bütünleşmemelerinin nedeni yalnızca neyin pratik olup neyin olmadığı sorunu mu? Cevap, yumurtanın tezgâhtan düşüp kırılmasının kolay ama bütünleşmesinin olağanüstü zor olmasında mı?

Eğer cevabı bu olsaydı, bana inanın, bunu bu kadar sürdürmezdim. Kolaylık ve zorluk konusu cevabın temel bir parçasıdır ama olayın içine oturduğu öykünün tamamı daha karışık ve dahil şaşırtıcıdır. Konu üzerinde derinleşirken buna da değineceğiz ama öncelikle bu bölümdeki tartışmayı biraz daha kesinleştirelim. Bu tartışma bizi sonunda entropi kavramına götürür.

Entropi

Viyana'da Beethoven, Brahms, Schubert ve Strauss'un mezarlarının bulunduğu Zentralfriedhof'taki bir mezar taşına, entropi olarak bilinen güçlü bir kavramı ifade eden, $S=k \log W$ yazan tek bir denklem yazılmıştır. Bu mezarda yatan kişi, geçen yüzyılın başlarında yaşayan ve gelmiş geçmiş en önsezili fizikçiler arasında yar alan Ludwig Boltzmann'dır. 1906 yılında karısı ve kızıyla İtalya'da tatil yaparken sağlığı bozulan ve depresyona giren

Boltzmann intihar etmiştir. İronik bir şekilde, yalnızca birkaç ay sonra deneyler, Boltzmann'ın yaşam boyu kararlılıkla savunduğu fikirlerin doğru olduğunu göstermeye başlamıştır.

Entropi kavramı ilk olarak endüstri devrimi sırasında, termodinamik alanının gelişmesine yardımcı olan fırınların ve buhar makinelerinin çalışmasıyla ilgilenen bilim insanları tarafından geliştirilmiştir. Uzun yıllar alan araştırmalar, temel fikirlerin keskin bir şekilde rafine edilmesiyle sonuçlanmış ve Boltzmann'ın yaklaşımında zirveye ulaşmıştır. Onun, kendi mezarında kısaca bir denklemle gösterilen yaklaşımı, istatistiksel bir mantık yoluyla, bir fiziksel sistemi oluşturan devasa sayıdaki bileşenlerle, sistemin sahip olduğu toplam özellikler arasında bir ilişki kur- maktadır.

Boltzmann'ın yaklaşımı konusunda bir fikir sahibi olabilmek için çift taraflı 693 yaprağı olan Savaş ve Barış romanının tüm yapraklarını tek tek ayırdıktan sonra hepsini birden havaya savurup sonra da bu yaprakları rasgele toplayıp üst üste koyarak yeniden istif ettiğinizi hayal edin. İstif edilmiş olan yaprakların sayfa numaralarına baktığınız zaman, sayfa sıralarının karışmış olma olasılığı karışmamış olma olasılığından çok daha yüksektir. Bunun nedeni açıktır. Sayfa sıralarının karışık olmasının çok yolu varken, düzgün sıralı olmasının yalnızca tek bir yolu vardır. Elbette sıralı olması için, sayfalar 1,2; 3,4; 5,6 vb. 1385, 1386 şeklinde gitmelidir. Başka türlü her sıralama sırasız olur. Basit ama temel bir gözlem, başka bütün koşullar eşit ise, herhangi bir şeyin olması için ne kadar fazla yol varsa, o şeyin olma olasılığının da o kadar yüksek olduğudur. Eğer yere düşen yaprakların yanlış sayfa sırasında olması gibi, bir şeyin olabilmesinin devasa sayıda çok yolu varsa, bunun olma olasılığı da devasa büyüklükte olur. Bütün bunları önsezilerimizle biliriz. Eğer bir piyango bileti alırsanız, kazanmanızın tek bir yolu vardır. Eğer numaraları birbirinden farklı bir milyon tane piyango bileti alırsanız kazanmanızın bir milyon yolu olur, böylece zengin olma şansınız bir milyon kat fazla olur.

Entropi, verilen herhangi bir fiziksel durumun gerçekleşmesinin fizik yasalarıyla uyumlu yollarını sayarak bu fikri kesinleştiren bir kavramdır. Yüksek entropi birçok yol olduğunu düşük entropi ise az yol olduğunu anlatır. Eğer Savaş ve Barış'ın yaprakları doğru sayla sırasında ise bu düşük entropili bir düzendir; çünkü bu ölçütü karşılayan bir ve yalnızca bir düzen vardır. Eğer sayfa sırası karışıksa, bu yüksek entropili bir düzendir çünkü kısa bir hesaplama ile 1245521984537783433660029353704988291633611012463890451368 876912646868955918529845043773940692947439507941893387518765

276567140592866271513670747391295713823538000161081264653018
2342056205714732061720293829029125021317022782119134735826558
1541071360143119322157534159733855428467298691398151599251190
858672609934810561430341343830563771367151105704786941333912
934192440961051428879847790853609589540140125932850632906034
109513149466389839052676761042780416673015494552281886102502
463386626036015088866470101429708545848151415983925468762312
952933478295186812370774596522432148887351679284483403000787
170636684623843536242451673622861091985393918150307604689046
649129789406250332651868583732271363702473904018910940649881
3983802654511148768648958164914034264441108719118441642809027
5713773809067258708430215795015899116232045813012950834386537
908191823777738521437536312253164159858926810597652814480138
774869702652546264393718939273059217967471691669781551985697
6926924946738364227822733457767180733162404336369527711836741
0428449347223477922340272256307211938539124728809290720342716
923779362076501904571097887744535443586803319160959249877443
194986997700333249463073243755353229067448176579539562184032
951681442710422276081242890487164286648724030703648649348325
0999667289734464253103493006266220146043120511010932823962492
51196897828330619215082827081439365998732684904799416683
965774789021245627961956001870608057687789478700986106922659
448726934100008726998763399003025591685820639734851035629676
4611600225159200119722741273318074829547248192807653266407023
083275428631264667150135590596642977333713183465474854760701
2423301287213532123732873272187482526403991104970017214756470
0499292264586435226501199999999999999999999999999999999999999
99999999999999999999999999999999999999999999999999999
999999999999999999999999999999999999999999999999999999999999
999999999999999999999 -yaklaşık 10^{1878}- farklı sırasız sayfa düzeni vardır. Eğer yaprakları havaya savurur ve sonra yeniden düzgünce istiflerseniz, sayfaların sırasız olacağı hemen hemen kesindir, çünkü böylesi düzenlerin entropisi olağanüstü yüksektir; düzgün sıralı sayfa düzeni elde etmenin yalnızca bir yolu varken, sırasız bir sonuç elde etmenin pek çok yolu vardır.

İlke olarak, yaprak yığını havaya atıldıktan sonra, her yaprağın nereye düşeceğini klasik fizik yasalarını kullanarak bulabiliriz. Dolayısıyla, gene ilke olarak, sonuçtaki sayfa sırası kesin bir biçimde hesaplanabilir ve bu yüzden de (gelecek bölüme kadar göz ardı ettiğimiz kuantum mekaniğinin aksine) hangi sonucun ortaya çıkma olasılığının diğerine göre fazla ya da az

olduğu gibi olasılık düşüncesine dayalı kavramlara gerek yokmuş gibi görünür. Ama istatistiksel mantık hem güçlü hem de yararlıdır. Eğer Savaş ve Barış yalnızca birkaç sayfalık bir kitapçık olsaydı, gerekli hesaplan çabucak tamamlayabilirdik ama gerçek Savaş ve Barış için bu olanaksızdır. Havada uçuşurken kendi yarattıkları hava akımları nedeniyle birbirlerine sürtünen, kayan, çarpışan 693 kitap yaprağının tam ve kesin hareketlerini izlemek, olağanüstü zor bir iş olup en güçlü süper bilgisayarın bile kapasitesinin ötesindedir.

Üstelik -ki bu kritiktir- tam sonucun bulunması da o kadar yararlı olmaz. Sonuçta yapraklara baktığınızda, her yaprağın tam olarak nerede olduğundan çok, sayfaların doğru sırada olup olmadığıyla ilgilenirsiniz. Eğer doğru sıradaysalar, harika. Oturup, Anna Pavlovna ve Nikolai Ilych Rostov hakkında her zaman olduğu gibi okumayı sürdürebilirsiniz. Ama sayfaların doğru sırada olmadığını gördüyseniz, sayfa düzeninin ayrıntılarıyla büyük olasılıkla pek ilgilenmezsiniz. Eğer bir tane yanlış sayfa sıralaması gördüyseniz, hepsini görmüş sayılırsınız. Eğer bilinmeyen, garip bir nedenle hangi yaprağın istifte nerede olduğunun ayrıntılarına boğulduysanız, başka birisinin, size başlangıçta verilmiş olan yığını tekrar karıştırıp karıştırmadığına dikkat bile etmezsiniz. Başlangıçtaki istif sırasız görünürken sonradan yeniden karıştırılan istif de sırasız görünür. Dolayısıyla istatistiksel mantık, sadece yürütme açısından kolaylık sağlamakla kalmaz, ortaya çıkardığı cevap da -sıralı mı yoksa sırasız mı- bizim amacımızla daha çok ilgilidir.

Böylesi bir genel bakış, entropi mantığının istatistiksel temeli için merkezi öneme sahiptir. Nasıl bir piyango biletinin büyük ikramiyeyi kazanma olasılığı bir başka biletinki ile aynıysa, Savaş ve Barış'ın yapraklarının her havaya savruluşunda belirli bir sırada yere düşmesi olasılığı, başka bir sırada düşme olasılığıyla aynıdır. İstatistiksel mantığı uçuran şey, yalnızca iki tane ilginç sayfa düzeni sınıfı olduğunu biliyor olmamızdır: Sıralı ve sırasız. İlk sınıfın bir üyesi varken (düzgün sayfa sırası 1, 2; 3, 4; vb.) ikinci sınıfın üye sayısı çok büyüktür (tüm olası yanlış sayfa sıraları). Bu iki sınıf, kullanılabilecek anlamlı bir takım oluştururlar, çünkü yukarıda olduğu gibi, bu sınıflar verilen herhangi bir sayfa düzenini şöyle bir karıştırarak yapacağınız genel değerlendirmeyi yansıtırlar.

Bu durumda bile, bu iki sınıf arasında yalnızca birkaç sayfanın sırasız olduğu bir düzen, yalnızca ilk bölümün sayfalarının sırasız olduğu bir düzen vb. gibi daha ince ayrımlar önerebilirsiniz. Aslında bazı durumlarda bu ara sınıfları göz önüne almak yararlı olabilir. Bununla birlikte, bu alt

sınıfların her birindeki olası sayfa düzenlerinin sayısı, sayfaları tam anlamıyla düzensiz olan sınıftaki sayıyla karşılaştırıldığında, hâlâ son derece küçüktür. Örneğin, Savaş ve Barış'ın sadece ilk bölümünün sayfalarını kapsayan sırasız düzenlerin sayısı, romanın bütün sayfalarını kapsayan sırasız düzen sayısının 10^{178} de biridir. O nedenle her ne kadar kitap yapraklarının havaya ilk fırlatılışlarında ortaya çıkan sayfa düzenleri, büyük olasılıkla, bütünüyle düzensiz sınıfa değil, bu ara sınıflardan birine ait olacaksa da, bu fırlatılma işinin üst üste defalarca tekrarlanması sonrasında bu sayfa düzeninin belirli bir desen sergilemeyeceği hemen hemen kesindir. Sayfa düzeni bütünüyle düzensiz sınıfa doğru evrilir çünkü bu sınıfa giren çok sayıda sayfa düzeni vardır.

Savaş ve Barış örneği entropinin iki temel özelliğini aydınlatır. Birincisi, entropi fiziksel bir sistemdeki düzensizliğin bir ölçüsüdür. Yüksek entropi, sistemi oluşturan bileşenlerin birçok yeniden düzenlenmesinin gözden kaçacağı anlamına gelir ki buradan da sonuçta sistemin yüksek ölçüde düzensiz olduğu anlamı çıkar. (Savaş ve Barış'ın yaprakları bütünüyle karıştıktan sonra daha fazla karıştırma, sayfaları karışık düzende bırakmaya devam edeceği için pek dikkat çekmez). İkincisi, çok bileşenli fiziksel sistemlerde (örneğin havaya fırlatılan çok sayfalı kitapların yaprakları) düzensizlik, düzenliliğe göre çok daha fazla sayıda ortaya çıkacağından, daha büyük düzensizliğe doğru doğal bir evrim vardır. Entropi sözlüğünde bu, fiziksel sistemler daha yüksek entropili durumlara doğru evrilme eğilimindedirler anlamına gelir.

Elbette entropi kavramını daha kesin ve evrensel hale getirirken fizikteki tanım, şu veya bu kitabın, görünüşünü aynı bırakan sayfa düzenlerinin sayılmasını içermez. Bunun yerine fizikteki tanım temel bileşenlerin - atomlar, atomaltı parçacıklar, vb.- verilen fiziksel sistemin toplam, "genel" özelliklerini değiştirmeyen yeniden düzenlenme durumlarını sayar. Savaş ve Barış örneğinde olduğu gibi, yüksek entropi çok sayıda yeniden düzenlemenin dikkatten kaçacağı, bu da sistemin büyük ölçüde düzensiz olduğu anlamına gelirken", düşük entropi az sayıda yeniden düzenlemenin dikkatten kaçacağı anlamına gelir çünkü sistem zaten yüksek ölçüde düzenlidir

Yakında kullanışlı olduğu da iyi anlaşılacak olan bir fizik örneği olarak, daha önce başvurduğumuz kola örneğini düşünelim. Başlangıçta şişenin içinde bulunan karbondioksit gibi bir gaz, odaya düzgün şekilde dağıldığında, bu moleküllerin fark edilebilir bir etki yapmadığı çok sayıda yeni düzen vardır. Örneğin, eğer kollarınızı sallarsanız, karbon dioksit

molekülleri konum ve hızlarını değiştirerek ileri-geri hareket ederler. Ama toplamda, düzenlerinde nitel bir değişiklik olmaz. Siz kollarınızı sallamadan önce moleküller düzenli bir biçimde dağılmışlardır, siz kollarınızı salladıktan sonra da öyledirler. Düzgün dağılmış gaz düzeni, moleküler bileşenlerinin devasa sayıdaki yeniden düzenlenme durumlarına karşı duyarsızdır, bu nedenle de yüksek entropili bir durumdur. Tersine, eğer gaz, şişe gibi daha küçük bir hacim içine dağılmış durumdaysa veya bir engelle odanın bir köşesine sıkışmış durumdaysa, entropisi oldukça düşüktür. Bunun nedeni açıktır. Daha ince kitapların daha az sayıda sayfa düzeni olması gibi, daha küçük hacimlerde de moleküllerin bulunabileceği daha az sayıda yer olacağı için, yeniden düzenlenme sayısı da daha azdır.

Ama şişenin kapağını açtığınızda veya engeli kaldırdığınızda gaz moleküllerine yeni bir evren açıyorsunuz demektir, onlar da itişip kakışarak bu yeni evreni keşfetmek üzere dağılırlar. Neden? Bu, Savaş ve Barış'ın sayfalarıyla aynı istatistiksel mantığa dayanır. Hiç kuşkusuz bazı molekül itişmeleri, bazı gaz moleküllerini tümüyle başlangıçtaki hacim içine doğru hareket etmeye zorlar. Ama yeni hacim, gazın başlangıçtaki hacminden büyük olduğu için, moleküller yeni hacmin içine dağıldıklarındaki yeniden düzenlenme sayısı, özgün hacimde kaldıkları zamanki yeniden düzenlenme sayısından daha fayla olur. O zaman, ortalama olarak gaz molekülleri başlangıçtaki hacimlerinden dışarı sızarak yavaş yavaş bütün odaya yayılma durumuna yaklaşacaklardır. Böylece, gazın küçük bir hacme sıkışmış olduğu düşük entropili başlangıç durumu, doğal bir biçimde, gazın daha büyük bir hacme yayıldığı daha yüksek entropili bir duruma doğru evrilir. Böyle bir duruma bir kere ulaştığında gaz, bu yüksek entropili durumunu koruma eğilimindedir: İtilme-kakılma hâlâ moleküllerin oraya-buraya gitmelerine, bir düzenden diğerine geçmelerine neden olur ama bu düzenlerin olağanüstü çoğunluğu gazın genel görünüşünü değiştirmez. Yüksek entropiye sahip olmasının anlamı budur.

İlke olarak, Savaş ve Barış romanının sayfalarında olduğu gibi, her karbondioksit molekülünün verilen bir anda kesinlikle nerede olduğunu klasik fizik yasalarını kullanarak belirleyebiliriz. Ama CO_2 moleküllerinin devasa sayısı nedeniyle -bir şişe kolada yaklaşık 10^{24} tane vardır- böylesi hesapları yapmak aslında pratik olarak olanaksızdır. Bir şekilde yapılabilse bile, milyon kere milyar kere milyar tane parçacığın konumu ve hızı, bize moleküllerin nasıl dağılmış olduğu konusunda pek de bir fikir vermez. Genel yapının istatistiksel özelliklerine odaklanmak -gaz dağılmış durumda mı yoksa sıkışık mı, yani entropisi yüksek mi yoksa düşük mü- çok daha aydınlatıcıdır.

Entropi, İkinci Yasa ve Zaman Oku

Fiziksel sistemlerin yüksek entropili durumlara doğru evrilme eğilimi termodinamiğin ikinci yasası olarak bilinir. (ilk yasa, bildiğimiz enerjinin korunumudur.) Yukarıda olduğu gibi bu yasanın da temeli istatistiksel mantıktır: Bir sistemin daha yüksek entropi sahibi olması için çok daha fazla yol vardır ve "daha fazla yol", sistemin bu yüksek entropili durumlardan birine doğru evrilme olasılığının daha yüksek olduğu anlamına gelir. Ama dikkat edilirse bu, alışılmış anlamda bir yasa değildir, çünkü her ne kadar böyle durumlar ender olup gerçekleşme olasılığı düşükse de, bir şey yüksek entropili bir durumdan düşük entropili bir duruma gidebilir. Karışık bir kitap yaprağı yığınını önce havaya savurup ve sonra da düzgünce istiflediğiniz zaman, sayfa sırasının düzgün olma olasılığı da bulunabilir. Bu olasılık üzerinde yüksek bir iddiaya girmek istemeyebilirsiniz ama bu olasıdır. Moleküller arası itme-kakma durumları da dağılmış bulunan karbondioksit moleküllerinin derlenip toplanarak yeniden açık şişeye dolmalarıyla sonuçlanabilir. Bu sonucun ortaya çıkmasını nefesinizi tutarak beklemeyin ama bu olabilir.

Savaş ve Barış'taki sayfa sayısının çokluğu ve odadaki gaz moleküllerinin sayısının çokluğu, hem düzenli ve düzensiz durumlar arasındaki entropi farkının bu kadar büyük olmasına ve hem de düşük-entropili sonuçların ortaya çıkma olasılığının bu kadar küçük olmasına neden olur. Eğer çift taraflı iki kitap yaprağını defalarca havaya atarsanız, yere yüzde 12,5 oranında doğru sırada düşmüş olduklarını görürsünüz. Üç kitap yaprağında bu yüzde 2'ye, dört yaprakta yüzde 0,3'e, beş yaprakta yüzde 0,03'e, altı yaprakta yaklaşık yüzde 0,002 ye, on yaprakta 0,000000027'ye düşer. 693 yaprakta bunların doğru sırayla yere düşmüş olma olasılığı o kadar küçüktür ki -noktadan sonra o kadar çok sıfır vardır- yayıncım beni bu sayıyı yeniden yazarak bir sayfa daha harcamamam konusunda uyardı. Benzer biçimde, boş bir kola şişesinin içine yalnızca yan yana iki gaz molekülü koyarsanız, oda sıcaklığında moleküllerin rasgele hareketlerinin, bunları her birkaç saniyede bir, bir araya (birbirlerinin birkaç milimetre yakınına) getirdiğini bulursunuz. Ama üç moleküllük bir grup için günlerce, dört molekül için yıllarca beklemeniz gerekir. Milyon kere milyar kere milyar molekülden oluşan bir başlangıç durumunda, bu moleküllerin rasgele hareketlerinin bunları küçük ve düzenli bir grup haline getirmeleri için geçmesi gereken zaman, evrenin şimdiki yaşından daha uzundur. Çok

bileşenli sistemlerin düzensizliğe doğru evrileceklerine ölümün ve vergilerin varlığından daha büyük bir kesinlikle güvenebiliriz.

Her ne kadar anında fark edilmese de, artık önemli bir noktaya geldik. Termodinamiğin ikinci yasası bizim, zamanın okunu, yani fiziksel sistemler çok sayıda bileşenden oluştuğunda ortaya çıkan oku bulmamızı sağlamış gibi görünüyor. Küçük bir kutuya konmuş (ve her birinin hareketlerinin izlenmesini sağlayan bir madde eklenmiş) birkaç karbondioksit molekülünün hareketlerini gösteren bir film izlemiş olsaydınız, filmin ileri mi yoksa geri mi oynatıldığını anlayamazdınız. İki molekül şuraya buraya giderek, bazen bir araya gelir, bazense ayrılırlar ama zamanda ileri yönü geri yönden ayırmaya yarayacak önemli bir davranış sergilemezler. Ama bir kutuya (diyelim küçük ve yoğun bir molekül topağı olarak) konmuş 10^{24} molekülün filmini izlemiş olsanız, filmin ileri mi yoksa geri mi oynatıldığını kolayca anlarsınız: ileri zaman yönü, çok yüksek bir olasılıkla, gaz moleküllerinin gittikçe daha fazla düzgün dağılarak ve dolaysıyla gittikçe daha yüksek entropiye ulaştığı yöndür. Bunun yerine, eğer film bir örnek olarak dağılmış gaz moleküllerinin bir araya gelerek sıkı bir grup oluşturduğunu gösteriyorsa, filmin geri oynatıldığını hemen anlarsınız.

Aynı mantık temel olarak gündelik hayatta sık sık karşılaştığımız her şeye, yani büyük sayıda bileşenden oluşan her şeye uygulanır: Zamanın ileri oku entropinin artma yönünü gösterir. Eğer masanın üzerine konmuş bir bardak buzlu suyu gösteren bir film izlerseniz, buzun erimesini izleyerek hangi yönün zamanda ileri yön olduğunu anlayabilirsiniz, H_2O molekülleri bardakta dağılarak entropiyi artırır. Eğer kırılan bir yumurtayı gösteren bir film izlerseniz, yumurtanın bileşenlerinin gittikçe daha düzensiz olmasını izleyerek hangi yönün zamanda ileri yön olduğunu bulabilirsiniz, dağılan yumurta parçacıktan entropiyi artırır.

Gördüğünüz gibi entropi kavramı, daha önce bulduğumuz "kolay mı yoksa zor mu?" sonucunun kesin bir yorumunu sunar. Savaş ve Barış'ın yapraklarının tümüyle sırasız olarak düşmesi çok kolaydır çünkü sırasız düzenlerin sayısı çok fazladır. Yaprakların tam sıralı olarak düşmesi çok zordur çünkü yüzlerce sayfanın Tolstoy'un düşündüğü doğru sırayla düşmesi gerekir. Yumurtanın kırılması kolaydır çünkü kırılmanın pek çok yolu vardır. Kırılmış yumurtanın yeniden toplanması zordur çünkü devasa sayıdaki yumurta bileşenlerinin doğru sırayla bir araya gelip masanın üzerinde durmakta olan yepyeni, düzgün bir yumurta oluşturmaları zordur. Çok sayıda bileşenden oluşan şeylerde düşükten yüksek entropiye -düzenden düzensizliğe- gidiş kolaydır, o nedenle her zaman olur. Yüksekten

düşük entropiye -düzensizlikten düzene- gidişse zordur, o nedenle en iyi olasılıkla ender olarak ortaya çıkar.

Ama bu entropi okunun da tam anlamıyla katı olmadığına dikkat edin; zamanın yönünün yüzde 100 yanılmaz olduğu yolunda bir iddia yoktur. Yaklaşım, bu ve diğer süreçlerin ters yönde ortaya çıkmalarına izin verecek kadar da esnektir. İkinci yasa entropi artışının doğanın ihlal edilemez bir gerçeği değil, yalnızca istatistiksel bir olasılık olduğunu söylediği için, kitap yapraklarının yere tam sıralı olarak düşmeleri, gaz moleküllerinin yeniden şişeye dolmaları veya kırılmış yumurtaların yeniden bütünleşmeleri gibi ender olasılıklara da izin verir. İkinci yasa, entropinin matematiğini kullanarak, kesin bir biçimde bu olayların olasılığının ne kadar düşük olduğunu (daha önce verilen devasa sayıyı hatırlayın) ifade eder ama bunların olabileceğini de kabul eder.

Bu, pek inandırıcı bir öyküymüş gibi durmuyor. İstatistiksel ve olasılıkçı mantık bize termodinamiğin ikinci yasasını sağlamıştır. Karşılık olarak ikinci yasa da bize geçmiş dediğimiz şeyle gelecek dediğimiz şey arasındaki sezgisel farkı ortaya koymuştur. Bu yasa, gündelik hayattaki şeylerin, tipik olarak devasa sayıda çok bileşenden oluşan şeylerin neden böyle başlayıp şöyle bittiğinin, bunların neden hiçbir zaman şöyle başlayıp böyle bittiğini görmediğimizin pratik bir açıklamasını yapmıştır. Ama yıllar geçtikçe -Lord Kelvin, Josel Loschmidt, Henri Poincare, S. H. Burbury, Ernest Zarmelo ve Willard Gibbs gibi fizikçilerin önemli katkıları sayesinde- Ludwig Boltzmann zamanın okunun ne kadar şaşırtıcı olduğunu takdir etmiştir. Boltzmann, her ne kadar entropi bilmecenin önemli yönlerini aydınlatmış olsa da, geçmiş ve geleceğin neden bu kadar farklı göründüğü sorusunun cevaplanmadığını fark etmiştir. Entropi, soruyu önemli bir yolla, beklenmedik sonuçlara yol açan bir yolla, yeniden tanımlamıştır.

Entropi: Geçmiş ve Gelecek

Daha önce, geçmişle gelecek arasındaki ikilemi gündelik gözlemlerimizi Newton'un klasik fizik yasalarıyla karşılaştırarak ortaya koymuştuk. Sürekli olarak olayların zamanda gelişme yönüne ilişkin olarak açık bir yönün varlığını yaşadığımızı ama yasaların kendilerinin zamanda geçmiş ve gelecek dediğimiz şeylere tam olarak eşit uzaklıkta durduğunu vurgulamıştık. Fizik yasalarının içinde zamanın yönünü belirten bir ok, "Bu yasaları zamanın bu yönünde kullanın, ters yönde değil "diyen bir yön gös-

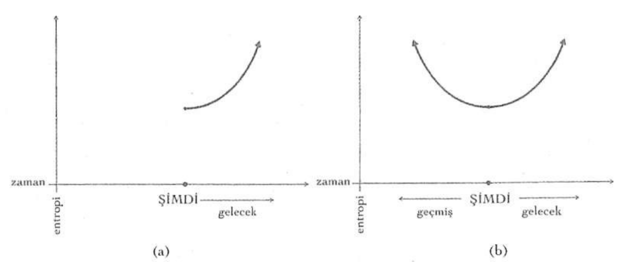
terici olmadığı için şunu sormak durumunda kalmıştık: Eğer bu yasalar her iki zaman yönüne de simetrik olarak yaklaşıyorsa, neden yaşananların kendileri hep aynı yönde oluyor da tersinde değil? Zamanın gözlenen ve yaşanan yönselliği nereden geliyor?

Geçtiğimiz alt bölümde, geleceği entropinin arttığı yön olarak ayırt eden termodinamiğin ikinci yasası aracılığıyla bir ilerleme kaydetmişiz gibi görünüyor. Ama biraz daha düşünülürse, o kadar da basit değil. Dikkat ederseniz, entropiyi ve ikinci yasayı tartışırken klasik fiziğin yasalarını herhangi bir şekilde değiştirmedik. Bütün yaptığımız, bu yasaları istatistiksel "genel" yapıda kullanmaktı. İnce ayrıntıları göz ardı ettik (Savaş ve Barış romanının dağılmış yapraklarının kesin sırası, kırılan yumurtanın bileşenlerinin kesin konum ve hızları, kola şişesindeki CO_2 moleküllerinin kesin konum ve hızları) ve bunun yerine dikkatimizi toplam, genel özellikler üzerinde yoğunlaştırdık. (kitap yaprakları sıralı mı sırasız mı, yumurta kırık mı değil mi, gaz molekülleri yayılmış mı yayılmamış mı). Fiziksel sistemlerin yeterince karmaşık olduğu durumlarda (çok yapraklı kitaplar, kırılıp parçalanabilen kırılgan cisimler, çok molekülden oluşan gazlar), bunların düzenli ve düzensiz durumları arasında devasa bir entropi farkı vardır. Bu da, bu sistemlerin düşük entropiden yüksek entropiye doğru evrilme olasılıklarının devasa boyutta olduğu anlamına gelir ki, termodinamiğin ikinci yasasının kabaca tanımı zaten budur. Ama dikkat edilmesi gereken kilit nokta, ikinci yasanın türev olduğudur: Bu yasa yalnızca olasılık mantığının Newton'un hareket yasalarına uygulanmasının bir sonucudur.

Bu bizi basit ama hayret verici bir noktaya götürür: Newton yasalarında yapısal bir zaman yönü olmadığı için, sistemlerin geleceğe doğru düşük entropiden yüksek entropiye evrilecekleri yolundaki düşünüşümüzün tamamı, geçmişe doğru uygulandığında da aynı doğrulukla işler. Yine, fiziğin temel yasaları zaman tersinmesi açısından simetrik olduğu için, bu yasalar açısından bizim geçmiş ve gelecek dediğimiz şeyleri ayırt etmenin bile bir yolu yoktur. Nasıl uzayın derinliklerinde yukarıyı ve aşağıyı gösteren oklar yoksa klasik fiziğin yasalarında da bu yönün gelecek, şu yönünse geçmiş olduğunu belirleyen hiçbir şey yoktur. Yasalar zamansal bir yönelme önermez; bu, yasaların tümüyle duyarsız olduğu bir ayrımdır. Hareket yasaları cisimlerin nasıl değiştiğinden sorumlu oldukları için -hem geçmiş dediğimiz yöne hem de gelecek dediğimiz yöne doğru- ikinci yasanın arkasındaki istatistiksel/olasılıkçı düşünüş biçimi, her iki zaman yö-

nüne de aynı şekilde uygulanır. Bu nedenle, fiziksel bir sistemin yalnızca gelecekteki entropisinin yüksek olması konusunda ezici büyüklükte bir olasılık olmakla kalmaz, geçmişteki entropisinin yüksek olduğu konusunda da aynı ezici büyüklükte bir olasılık vardır. Bunu Şekil 6.2'de gösterdik.

Bu, aşağıdakilerin tümü için kilit nokta olmakla birlikte aldatıcı bir şekilde karışık gibi durmaktadır. Termodinamiğin ikinci yasasına göre, eğer entropi geleceğe doğru artıyorsa, o zaman geçmişe doğru zorunlu olarak azalacağı inancı yaygın bir hatadır. Karışıklığın başladığı yer de burasıdır. İkinci yasa aslında şunu söyler: Eğer verilen bir anda bir fiziksel sistem olası en yüksek entropiye sahip değilse, o zaman olağanüstü büyük bir olasılıkla gelecekte daha yüksek bir entropiye sahip olacaktır ve geçmişteki entropisi de daha yüksektir. Şekil 6.2b'nin içeriği budur. Geçmiş ve gelecek ayrımı olmayan yasalarla böylesi bir simetri kaçınılmazdır.



Şekil 6.2(a) Genelde tanımlandığı gibi, termodinamiğin ikinci yasası entropinin verilen bir andan geleceğe doğru artacağını ima eder. (b) Bilinen doğa yasaları geçmiş ve geleceğe eşit davrandığı için, ikinci yasa, aslında entropinin verilen bir noktadan hem geçmişe, hem de geleceğe doğru artacağını ima eder.

Temel ders budur. Bu temel ders bize zamanın entropi okunun iki-başlı olduğunu söyler. Entropi artış oku belirlenmiş bir andan geleceği ve geçmişi gösterir. Bu da yaşanılan zamanın tek yönlü oluşunun açıklaması olarak entropi okunun gösterilmesini kesin bir biçimde zora koşar.

İki başlı entropi okunun ne ima ettiği konusunda somut terimlerle bir düşünün. Eğer sıcak bir günse ve bir bardak suyun içinde kısmen erimiş buz parçaları görüyorsanız, o zaman büyük bir güvenle, yarım saat sonra buzların daha da erimiş bir durumda olacağını söyleyebilirsiniz çünkü ne kadar fazla erirlerse, entropileri de o kadar yüksek olur. Ama aynı güvenle yarım saat önce de daha erimiş bir şekilde olduklarını söyleyebilirsiniz,

çünkü aynı istatistiksel mantık, entropinin geçmişe doğru da artması gerektiğini ima eder. Aynı sonuç, her gün karşılaştığımız sayısız başka örneğe de uygulanabilir. Entropinin geleceğe doğru artacağı yolundaki inancınız -kısmen yayılmış gaz moleküllerinden daha fazla yayılmış gaz moleküllerine, kısmen karışmış sayla numaralarından daha da karışmış sayfa numaralarına- entropinin geçmişte de daha yüksek olduğu inancıyla tam olarak örtüşmelidir.

Sorun, bu sonuçların yarısının düpedüz yanlış gibi görünmekte olmasıdır. Entropi mantığı zamanın bir yönüne, gelecek adını verdiğimiz yöne uygulandığında doğru ve anlamlı sonuçlar verirken, zamanın diğer yönüne, geçmiş adını verdiğimiz yöne uygulandığında yanlış ve görünüşe bakılırsa gülünç sonuçlar vermektedir. İçinde kısmen erimiş buz bulunan bir bardak su kendiliğinden, içinde hiç buz olmayan bir bardak su olarak başlayıp, yeniden eriyip suya dönüşmek üzere, su moleküllerinin birbirine yapışıp buza dönüşmesiyle ortaya çıkmaz. Savaş ve Barış'ın dağılmış yaprakları, tam olarak sırasız olarak başlayıp havaya fırlatıldıkça, giderek daha sıralı hale girip sonra yeniden git gide daha karışık hale gelmez. Mutfağa geri dönersek, yumurtalar kırılmış olarak başlayıp önce yapışarak bütün yumurta oluşturup sonra yeniden dağılmazlar.

Yoksa öyle mi?

Matematiği İzlemek

Yüzyıllar süren bilimsel araştırmalar, matematiğin bize evrenin çözümlenmesi için güçlü ve keskin bir dil sağladığını göstermiştir. Aslında modern bilimin tarihi, matematiğin hem önsezilere hem de deneyimlere aykırı gibi görünen öngörülerinin (evrendeki kara deliklerin varlığı, evrende karşı-maddenin varlığı, birbirinden uzak parçacıkların bağlantılı olabilecekleri vb.) sonuçta gözlem ve deneylerce doğrulandığı örneklerle doludur. Böylesi gelişmeler, kuramsal fizik kültürü üzerine damgalarını son derece derin bir şekilde vurmuşlardır. Fizikçiler, yeterince dikkatli kullanıldığında matematiğin, gerçekliğe giden, emin bir yol olduğunun farkına varmışlardır.

Bu nedenle, doğa yasalarının matematiksel çözümlemesi, verilen bir andan geçmişe ve geleceğe doğru entropinin artması gerektiğini gösterdiği zaman, fizikçiler bu sonucu göz ardı etmezler. Bunun yerine fizikçilerin Hipokrat yeminine benzeyen bir yemin, araştırmacıları insan deneyimlerinin görünürdeki gerçekleri konusunda derin ve sağlıklı bir

kuşkuculuğu sürdürmeye ve aynı kuşkucu tavra eşlik eden özenli bir çalışmayla matematiği izleyip ne sonuca vardığını görmeye yönlendirir. Ancak o zaman fiziksel bir yasa ile sağduyu arasında kalan herhangi bir uyumsuzluğu gereği gibi değerlendirebilir ve yorumlayabiliriz.

Bu sonuca ulaşmak için, saatin gece 22:30 olduğunu, son yarım saattir bardaktaki buzlu suya baktığınızı (barda sakin bir gece) ve buz küplerinin yavaş yavaş eriyerek küçük, şekilsiz yapılara dönüştüğünü gözlediğinizi varsayın. Barmenin yarım saat önce tam küp şeklindeki buzları bardağa doldurduğundan hiç kuşkunuz yok; kuşkunuz yok çünkü belleğinize güveniyorsunuz. Ama eğer bir şekilde, son yarım saat içinde ne olup bittiğine ilişkin güveniniz sarsılacak olursa, o zaman barda karşınızdaki taburede oturan ve buzların erimesini izleyen arkadaşınıza sorabilir (barda gerçekten sakin geçen bir gece) veya bardaki güvenlik kamerasının çektiği filme bakabilirsiniz ki her ikisi de belleğinizdekinin doğru olduğunu onaylayacaktır. Bu durumda, eğer kendinize önünüzdeki yarım saat içinde ne olmasını beklediğiniz sorusunu sorarsanız, büyük olasılıkla erimeye devam edecekleri sonucuna varırsınız. Eğer artık entropi kavramı size yeterince tanıdık geliyorsa, bu öngörünüzü, şu anda, 22:30'da gördüğünüz durumdan geleceğe doğru entropinin artacağı yolundaki ezici büyüklükteki olasılığa başvurarak açıklarsınız. Bunların tümü önsezilerimiz ve deneyimlerimiz açısından anlamlıdır.

Ama gördüğümüz gibi, böyle entropi mantığı -basit bir biçimde şeylerin git gide düzensiz hale geleceğini çünkü düzensiz olmanın pek çok yolu olduğunu söyleyen ve olayların zamanla, geleceğe doğru nasıl gelişeceğini açıklamakta başarılı olan mantık entropinin geçmişte de daha yüksek olma olasılığının büyük olduğunu öne sürer. Bu da, 22:30'da kısmen erimiş olduğunu gördüğünüz buz küplerinin; daha önceki zamanlarda aslında daha fazla erimiş olduğu; bu buzların gece saat 22:00'da hiç erimemiş buz küpleri olarak başlamadığı, oda sıcaklığındaki sudan yavaş yavaş buza dönüştükleri ve yavaş yavaş erimeye devam ederek saat gece 23:00'da yeniden oda sıcaklığında bir bardak suya dönüşecekleri anlamına gelecektir.

Hiç kuşkusuz, kulağa çok acayip geliyor, belki de delilik diyebilirsiniz. Gerçeği söylemek gerekirse, yalnızca oda sıcaklığındaki bir bardak sudaki H20 molekülleri bir araya gelerek kendiliklerinden buza dönüşmezler, güvenlik kamerasındaki sayısal görüntüler, beyninizdeki ve karşı taburede oturan arkadaşınızın beynindeki nöronlar, hepsi de kendilerini, böyle bir şey asla olmamış olsa da, 22:30'da tam oluşmuş buz küplerinin eridiğine tanık olmak üzere ayarlamak zorundadır. Kulağa acayip gelen bu sonuç, entropi

mantığının sadık bir uygulamasının -saat 22:30'da kısmen erimiş olduğunu gördüğünüz buzların neden 23:00'a doğru erimeye devam ettiğini açıklamak üzere başvurduğunuz mantık- fizik yasalarınca emredildiği gibi zamansal bir simetri uygulandığında vardığı yerdir, içinde yapısal bir geçmiş ve gelecek ayrımı olmayan temel hareket yasalarına, matematiğin verilen bir anın öncesine ve sonrasına doğru aynı şekilde davrandığı yasalara sahip olmanın güçlüğü buradadır.

Kısa bir süre içinde, eşitlikçi entropi mantığının bizi getirdiği bu acayip yerden bir çıkış noktası bulacağımıza emin olabilirsiniz; sizi belleğinizin ve kayıtların hiç olmamış geçmişe ait olduğuna ikna etmeye çalışacak değilim (Matrix filminin hayranlarından özür dilerim). Ama önsezi ve matematik yasaları arasındaki parçalanmışlığın yerini kesin olarak belirlemenin çok yararlı olduğunu göreceğiz. O zaman, bu yolu izlemeyi sürdürelim.

Zor Bir Durum

Önsezileriniz daha yüksek entropili bir geçmiş karşısında duraklar. Çünkü olayların zamanın normal, ileri yönünde gelişmesine bakıldığında, düzenlilikte kendiliğinden bir artış olmasını gerektirir. Su molekülleri kendiliklerinden 0 derece Celsius'a kadar soğuyarak buza dönüşürler, beyinler kendiliklerinden geçmişte yaşanmamış anılara sahip olurlar, video kameralar kendiliklerinden hiç olmamış olayların görüntülerini üretirler vb. Tümü de son derece olağan dışı görünen ve geçmişi açıklamak üzere ortaya atılan bu önerilerle Oliver Stone bile dalga geçer. Bu noktada fiziksel yasalarla entropinin matematiği, önsezilerinizle tamamıyla uyuşur. Zamanın ileri yönünde gece saat 22:00'dan 22:30'a kadar bakıldığında, böyle bir olaylar dizisi termodinamiğin ikinci yasası tarafından pek hoş karşılanmaz -entropide bir düşmeyle sonuçlanır- ve bu nedenle de olanaksız olmasa bile, olasılığı çok düşüktür.

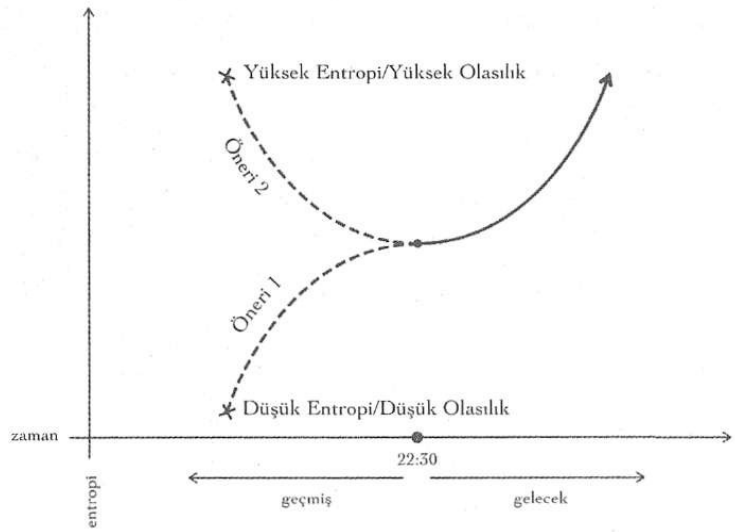
Tersine, önsezileriniz ve yaşam deneyimleriniz size, çok daha yüksek olasılıklı olan bir olaylar dizisinin, gece saat 22:00'da tam oluşmuş olan buz küplerinin, şu anda, 22:30 da bardağınızda gördüğünüz kısmen erimiş buzlara dönüşmesi olduğunu söyler. Ama bu noktada fiziksel yasalarla entropinin matematiği, beklentilerinizle yalnızca kısmen örtüşür. Eğer saat 22:00'da gerçekten tam oluşmuş buz küpleri olsaydı, o zaman en olası olaylar dizisi 22:30 da bunların kısmen erimiş buzlara dönüşmesi olurdu ve bu, önsezilerle matematiğin tam anlamıyla uyuşması anlamına gelirdi: Sonuçta entropideki artış hem termodinamiğin ikinci yasasıyla, hem de

yaşam deneyimleriyle uyumludur. Ama matematikle önsezilerin ayrıldığı yer, şu anda, 22:30 da hiç kuşkusuz, güvenilir bir şekilde kısmen erimiş buz küpleri görüyor olmanıza ilişkin bir gözlem verildiğinde, önsezilerimizin, matematiğin aksine saat 22:00'da gerçekten tam oluşmuş buz küpleri olma veya olmama olasılığını dikkate almamasıdır.

Bu, kilit öneme sahip bir nokta olduğu için biraz açıklayayım. Termodinamiğin ikinci yasasından çıkarılacak temel ders, fiziksel sistemlerin, yüksek entropili durumlara sahip olmasının çok yolu olduğu için, böyle durumlarda bulunmaya olağanüstü yüksek bir eğilimleri olduğudur. Bir kere böylesi yüksek entropili bir duruma geldiğinde, fiziksel sistemlerin bu durumu sürdürme eğilimleri de olağanüstü yüksektir. Yüksek entropi, varlığın doğal durumudur. Bir fiziksel sistemin yüksek entropili bir durumda olması sizi askı şaşırtmamalı veya bu durumu açıklama gereği duymamalısınız. Böyle durumlar normaldir. Tam tersine, açıklanma gereği olan durumlar, verilen bir fiziksel sistemin neden düzenli, düşük entropili bir durumda olduğudur. Bu durumlar normal değildir. Elbette gerçekleşebilirler. Ama entropi açısından, böylesi düzenli durumlar ender görülen ve açıklanması gereken sapmalardır. Dolayısıyla, incelediğimiz bölümde tartışmasız doğru olarak kabul ettiğimiz olgunun -gece saat 22:30'daki düşük-entropili, kısmen erimiş buz küpleri gözleminiz- aslında açıklanmaya ihtiyacı vardır.

Ve olasılık bakış açısından bu düşük-entropili durumu daha düşük-entropili bir durumla, gece saat 22:00'da çok daha düzenli, daha tam buz küplerinin varlığının daha eski, daha düzenli bir ortamda gözlenmesi gibi çok daha düşük olasılıklı bir durumla açıklamak saçmadır. Bunun yerine, olayların tam anlamıyla normal, yüksek entropili bir durumda ve şaşırtıcı olmayan bir biçimde başlamış olması, çok daha olasıdır: içinde kesinlikle buz bulunmayan bir bardak sıvı halinde su. Daha sonra son derece düşük olasılıklı olmakla birlikte ara sıra gerçekleşen istatistiksel bir dalgalanma sonucunda termodinamiğin ikinci yasasına ters düşecek şekilde, kısmen oluşmuş buz küplerinin ortaya çıktığı, daha düşük entropili bir duruma doğru evrilmiştir. Her ne kadar ender görülen ve bize pek tanıdık gelmeyen bir süreci gerektiriyorsa da, bu evrim, çok daha düşük-entropili, olasılığı çok daha düşük ve hatta çok daha ender görülen bir durum olan tam oluşmuş buz küplerinin olması durumundan tümüyle uzak durmaktadır. Şekil 6.3'de göreceğiniz gibi gece 22:00 ve 22:30 arasında her an, kulağa garip gelen bu evrim, normal buzun erimesi senaryosundan daha yüksek entropiye sahiptir ve bu nedenle de 22:30'daki kabul edilen gözlemi, tam

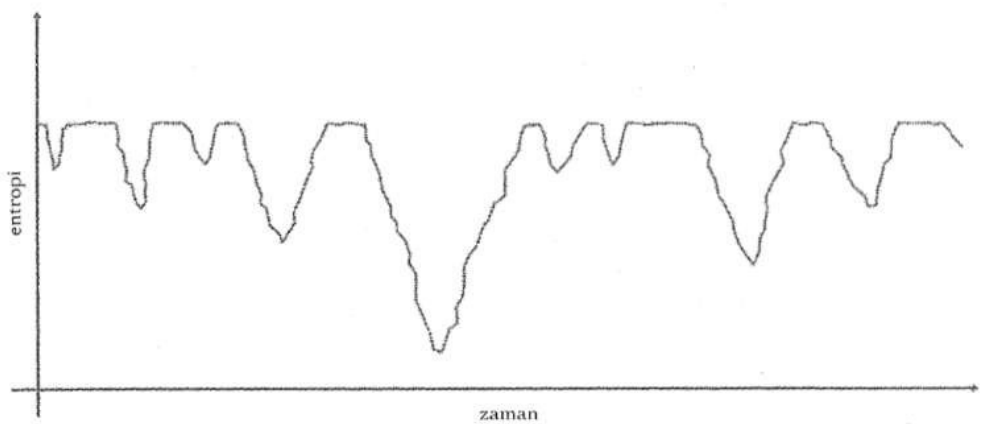
oluşmuş buz küplerinin bulunduğu senaryodan daha olası -çok daha olası- bir senaryoyla gerçekleştirir. işte bu, konunun düğüm noktasıdır.



Şekil 6.3: Şimdi, 22:30'da kısmen erimiş halde olan buz küplerinin bu hale nasıl geldiğine ilişkin iki senaryo önerisinin karşılaştırılması. 1. öneri eriyen buz belleğinize paralel olarak ama saat 22:00'da göreli olarak düşük entropili bir başlangıç gerektiriyor. 2. öneri, 22:30'da görmekte olduğunuz kısmen erimiş buzun bir bardak sudan, saat 22:00'da yüksek-entropili, yüksek olasılıklı, düzensiz bir durumdan başlayarak oluştuğunu söyleyerek belleğinize meydan okuyor. Gece 22:30'a doğru giden yolun her adımında 2. önerinin içerdiği durumlar 1. önerinin içerdiği durumlara oranla çok daha olasıdır -çünkü grafikte de gördüğünüz gibi, bu durumların entropisi daha yüksektir- ve bu nedenle de 2. öneri istatistiksel olarak favoridir.

Bütün evrenin aynı çözümlemeye tabi olduğunu fark etmek Boltzmann için küçük bir adımdı. Evrende şu an çevrenize bakarsanız, gördükleriniz büyük ölçüde biyolojik bir örgütlenmeyi, kimyasal bir yapıyı ve fiziksel düzeni yansıtır. Her ne kadar evren, tümüyle düzensiz bir karmaşa olabilirdi ise de öyle değildir. Neden böyle? Düzen nereden geliyor? Buz küplerinde olduğu gibi, olasılık açısından gördüğümüz evrenin geçmişteki çok daha düzenli -ve daha da az olası- bir durumdan yavaş yavaş günümüzdeki durumuna evrilmiş olma olasılığı son derece düşüktür. Evren çok sayıda bileşenden oluştuğu için, düzenli ve düzensiz ölçekleri çok büyümüştür. Dolayısıyla barda doğru olan şey bütün evren için de alabildiğine doğrudur: Şimdi görmekte olduğumuz evrenin normal, şaşırtıcı olmayan, yüksek entropili, tümüyle düzensiz bir yapıdan istatistiksel olarak ender görülen bir dalgalanma sonucunda doğmuş olması çok daha -nefes kesici ölçüde çok daha- olasıdır.

Şöyle düşünün: Eğer bir avuç bozuk parayı defalarca havaya atarsanız, er veya geç hepsi yere tura olarak düşecektir. Eğer Savaş ve Barışın dağılmış yapraklarını defalarca havaya alacak kadar, sonsuza yakın sabrınız varsa, yapraklar er ya da geç yere doğru sayfa sırasıyla düşecektir. Eğer açılmış ve gazı kaçmış bir kola şişesiyle yeterince beklerseniz, itişen karbondioksit molekülleri kendilerini yeniden şişenin içine hapsedecektir. Boltzmann'ın itirazı şuydu ki, eğer evren yeterince uzun süre beklerse -belki de neredeyse sonsuza yakın bir süre- normal, yüksek-entropili, yüksek olasılıklı, tümüyle düzensiz durumu, çarpışarak, itişip kakışarak, parçacıkların ve ışınımın rasgele akımıyla, er ya da geç hepimizin şimdi görmekte olduğu düzeni ortaya çıkaracaktır. Her ne kadar yansıtıyor göründükleri geçmiş gerçekten hiç olmamış olsa bile, bedenlerimiz ve beyinlerimiz bu kaostan tam oluşmuş olarak -belleklerle, bilgiyle ve becerilerle donanmış olarak- çıkar. Bildiğimiz her şey, değer verdiğimiz her şey, ender ama ara sıra beklenen ve sonsuzmuş gibi görünen düzensizliği bölen istatistiksel bir dalgalanmadan başka bir şey değildir. Bu, şematik olarak Şekil 6.4'te gösterilmiştir.



Şekil 6.4 Evrenin toplam entropisinin zamanla değişiminin şematik gösterimi. Grafik, evrenin zamanının çoğunu tümden düzensiz -bir yüksek entropi durumu- bir durumda geçirdiğini ve ara sıra çeşitli derecelerde düzenlilik durumları, değişik düşük entropili durumlar yaşadığını gösteriyor. Entropi derinliği ne kadar fazlaysa, dalgalanma olasılığı da o kadar düşüktür. Evrende günümüzdeki düzen türünden entropideki önemli derinlikler son derece düşük olasılıklıdırlar ve ender olarak ortaya çıkarlar.

Geriye Bir adım Atmak

Yıllar önce bu fikirle ilk karşılaştığımda, bir şok geçirmiştim. O noktaya kadar entropi kavramını iyi anladığımı düşünürdüm ama anlaşılan oydu ki, okuduğum ders kitaplarından entropinin yalnızca geleceğe ilişkin öngörülerini göz önüne almıştım. Biraz önce gördüğümüz gibi, entropi geleceğe doğru uygulandığında sağduyumuzu ve yaşadıklarımızı doğrulayan sonuçlar verirken, geçmişe doğru uygulandığında sağduyumuzla ve yaşadıklarımızla çelişen sonuçlar ortaya koyuyor. Uzun zamandır tanıdığınız bir arkadaşınızın size ihanet ettiğini öğrenmeniz kadar kötü değil ama benim için buna yakın bir şeydi.

Bununla birlikte bazen çok çabuk karar vermek pekiyi değildir, entropinin beklentileri karşılamakta görünürdeki başarısızlığı böyle bir duruma iyi bir örnektir. Büyük olasılıkla sizin de düşündüğünüz gibi birdenbire yoktan var olma fikrine alışkın olmamız, kolay yutulur bir lokma değildir. Evrenin bu açıklamasının gerçek ve önemli kabul ettiğimiz her şeyin doğruluğuna meydan okuması "sırf" bu yüzden olamaz. Aynı zamanda kritik soruları cevapsız bırakır. Örneğin, günümüzde evren ne kadar düzenli ise -Şekil 6.4'teki derinlik ne kadar fazla ise- onu var etmek için gerekli olan istatistiksel sapmanın olasılığı da o kadar düşüktür. Bu yüzden eğer evren çevremizde gördüğümüz şeyleri az çok bu duruma getirmek için gerçek düzen miktarından yana cimrilik etmiş olması gerekiyor idiyse, olasılık düşüncesi evrenin bunu yapmış olduğu sonucuna varır. Ama evreni incelediğimiz zaman bazı fırsatların kaçmış olduğunu görüyoruz çünkü etrafta, olmaları gerekenden daha düzenli olan pek çok şey var. Eğer Michael Jackson Thriller'ı hiç kaydetmemiş olsaydı ve bu albümün dünyanın her yanına dağıtılan milyonlarca kopyası, düşük entropiye doğru olan sapkın bir dalgalanmanın bir parçası olsaydı, yalnızca bir milyon veya yarım milyon veya birkaç kopya ortaya çıktığında sapma çok daha az olurdu. Eğer evrim hiç olmamış olsaydı ve biz insanlar daha düşük entropiye doğru sapkın bir sıçramanın sonucu olarak ortaya çıkmış olsaydık, o zaman böylesi tutarlı ve düzenli fosil kayıtlarının olmaması durumunda sapma çok daha az olurdu. Eğer Büyük Patlama hiç gerçekleşmemiş ve gördüğümüz 100 milyar galaksi, düşük entropiye doğru böylesi sapkın bir sıçrama sonucu ortaya çıkmış olsaydı, o zaman 100 milyar yerine 50 milyar, veya 5000 veya sadece birkaç tane veya yalnızca bir galaksinin olması durumunda bu sapma daha az olurdu. Dolayısıyla, eğer evrenimizin istatistiksel bir dalgalanma -mutlu bir rastlantı- olduğu düşüncesinin herhangi bir geçerliliği varsa, o zaman neden ve nasıl evrenin bu kadar düşük entropiye sahip olduğunun da açıklanması gerekir.

Daha da baskılayıcı olarak, eğer gerçekten belleğinize ve kayıtlara güvenemiyorsanız, o zaman fizik yasalarına da güvenemezsiniz. Fizik yasalarının geçerliliği, olumlu sonuçları aynı bellek ve kayıtlarca doğrulanan çok sayıda deneye dayanır. O nedenle, kabul edilmiş fizik yasalarının zaman tersinmesi simetrisi üzerinde temellenen bütün mantıksal düşünüşler tümden sorgulanmaya açılır ki bu da şu andaki tartışmamızın temelini ve entropi anlayışımızı baltalar. Bildiğimiz evrenin tümden düzen-siz bir durumdan ender ama ara sıra beklenebilen bir istatistiksel dalgalanma olduğu sonucunu kabul edersek, süratle bataklığa saplanırız ve her şeyden önce böylesi tuhaf bir açıklamaya yol açan mantık zincirimiz de dahil olmak üzere bütün kavrayışımızı kaybederiz.

Bu yüzden, inançsızlığı askıya alıp entropinin fizik ve matematik yasalarını -verilen bir andan geçmişe ve geleceğe doğru düzensizliğin artma olasılığının ezici bir büyüklükte olduğunu anlatan kavramlar- çalışkan bir tutumla izlemekle kendimizi boğazımıza kadar bataklığın içinde bulmuştuk. Kulağa hoş gelmese de, iki nedenden ötürü bu iyi bir şeydir. Birincisi, belleğimize ve kayıtlara güvensizliğin -sezgisel olarak alay ettiğimiz bir şey - kesinlikle anlamlı olmadığını gösterir. İkincisi, çözümsel yapımızın çökmenin eşiğinde olduğu bir noktaya ulaşarak, mantıksal düşünüşümüzden geriye yaşamsal bir şey bırakmamız gerektiğini etkileyici bir şekilde fark ederiz.

Yumurta, Tavuk ve Büyük Patlama

Bunun ne anlama geldiğini görmek için, eski zamana ait, düşük-entropili, tam oluşmuş bir yumurta örneğini ele alalım. Bu düşük-entropili sistem nasıl varlığa kavuştu? Eğer belleklerimize ve kayıtlara yeniden güvenmeye başlayacak olursak, hepimiz cevabı biliyoruz. Yumurta tavuktan çıktı. O tavuk da yumurtadan çıktı, o yumurta da tavuktan çıktı vb. Ama en etkili şekliyle İngiliz matematikçi Roger Penrose taralından vurgulandığı gibi, bu yumurta-tavuk öyküsü aslında derin bir şeyler öğretir ve belirli bir noktaya çıkar.

Bir tavuk veya bu anlamda herhangi bir canlı hayret verici yükseklikte düzenli bir fiziksel sistemdir. Bu düzenlilik nereden gelir ve nasıl

sürdürülür? Bir tavuk, yiyerek ve nefes alarak, en azından yeni yumurtalar yumurtlayacak kadar uzun süre yaşamını sürdürür. Besin ve oksijen, canlı varlıkların ihtiyaç duydukları enerjiyi ürettikleri hammaddeyi sağlarlar. Ama eğer ne olup bittiğini gerçekten anlamak istiyorsak, bu enerjinin vurgulanması gereken kritik özelliğini bilmemiz gerekir. Sağlıklı bir tavuk, hayatı boyunca besinlerden aldığı kadar enerjiyi, çoğunlukla ısı ve metabolizma süreçleri ve günlük etkinlikler sonucunda üretilen diğer atıklar şeklinde çevreye geri verir. Eğer giren enerjiyle çıkan enerji arasında böyle bir denge yoksa tavuk giderek kilo alır. Ama asıl nokta şudur ki, bütün enerji biçimleri eşit değildir. Tavuğun çevreye ısı şeklinde verdiği enerji yüksek oranda düzensizdir- hava moleküllerinin normalden biraz daha hızlı hareket edip birbirleriyle çarpışmalarına neden olur. Böyle enerjinin entropisi yüksektir -dağınıktır ve çevreyle karışır- ve bu nedenle kolaylıkla yararlı bir amaç için kullanılamaz. Tersine, tavuğun yediği şeylerden aldığı enerji düşük entropilidir ve hayatı sürdüren önemli etkinlikler için kullanılır hale getirilmiştir. Bu nedenle tavuk ve aslında her yaşam türü, düşük entropili enerji alıp yüksek entropili enerji veren bir boruya benzer.

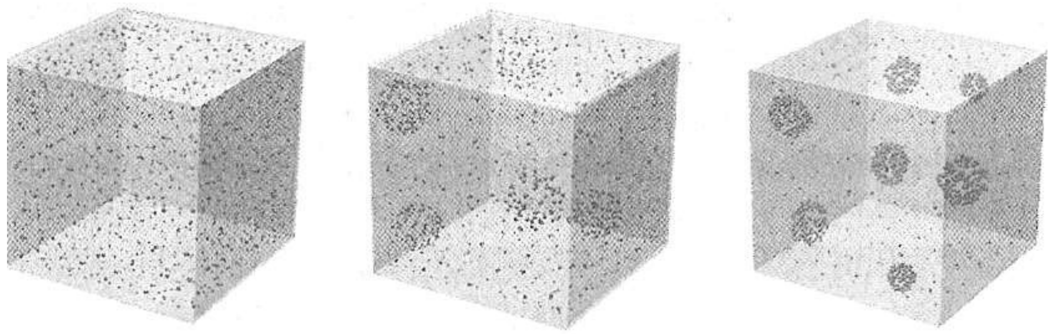
Bu kavrayış, bir yumurtanın düşük entropisinin nereden kaynaklandığı sorusunu bir adım daha geriye atar. Nasıl oluyor da tavuğun enerji kaynağı, besini böylesine düşük entropiye sahip olabiliyor? Bu sapkın düzen kaynağını nasıl açıklarız? Eğer besin hayvansal kaynaklı ise, başlangıçtaki, hayvanların nasıl bu kadar düşük entropiye sahip olduğu sorusuna geri döneriz. Ama eğer besin zincirini izlersek, sonuçta (benim gibi) yalnızca bitki yiyen hayvanlara ulaşırız. Nasıl oluyor da bitkiler ve onların ürünü olan sebze ve meyveler düşük entropiyi sürdürebiliyorlar? Fotosentez yoluyla bitkiler, güneş ışığını kullanarak çevrede bulunan karbondioksiti oksijene dönüştürür ve çevreye geri verirler, karbon ise bitkilerin büyüyüp gelişmesinde kullanılır. Böylece düşük entropili, hayvansal kaynaklı olmayan enerji kaynaklarını güneşe kadar izleyebiliriz.

Bu, düşük entropiyi açıklama sorusunu bir adım daha geriye atar: Yüksek ölçüde düzenli olan Güneş'imiz nereden geldi? Güneş, tüm bileşenlerinin karşılıklı kütleçekimi altında dönmeye ve kümelenmeye başlayan, başlangıçta dağınık olan bir gaz bulutundan, 5 milyar yıl önce şekillendi. Gaz bulutu yoğunlaştıkça, bir bölümün diğeri üzerindeki kütleçekimsel etkisi güçlendi, bu da bulutun giderek kendi üzerine çökmesine yol açtı. Kütleçekimi bulutu sıkıştırdıkça, sıcaklığı arttı. Sonunda, dışarıya doğru akan ışınımı üreten nükleer (çekirdeksel) süreçleri başlatacak kadar ısındı. Işınım ise gaz bulutunun daha fazla çökmesini önledi. Böylece sıcak,

dengeli, parlayarak yanan bir yıldız doğdu. Peki, bu dağınık gaz bulutu nereden geldi? Büyük olasılıkla hayatının sonuna ulaşmış ve süpernova olarak patlamış ve kalıntılarını çevreye saçmış olan daha yaşlı yıldızların kalıntılarından oluşmuştu. Bu ilk yıldızların oluştuğu dağınık gaz nereden geldi? Bu gazın Büyük Patlama sonrasında oluştuğuna inanıyoruz. Evrenin kaynağına ilişkin en rafine kuramlarımız -en rafine kozmoloji kuramlarımız- bize, Büyük Patlama'dan yalnızca birkaç dakika sonra evrenin, kabaca yüzde 75 hidrojen, yüzde 23 helyum ve küçük miktarlarda döteryum ve lityumdan oluşan hemen hemen bir örnek sıcak gazla dolu olduğunu söylüyor. Temel nokta, evreni dolduran bu gazın olağanüstü düşük bir entropiye sahip olmasıdır. Büyük Patlama evreni düşük entropili olarak başlattı. Bu durum, şimdi gördüğümüz düzenliliğin kaynağıymış gibi görünmektedir. Bir başka deyişle şimdiki düzenlilik, kozmolojik bir kalıntıdır. Bu önemli kavrayışı biraz daha ayrıntılı olarak inceleyelim.

Entropi ve Kütleçekimi

Kuram ve gözlem, Büyük Patlama'dan sonra birkaç dakika içinde, ilkel gazın genç evrenin içinde tek biçimli olarak dağıldığını gösterdiği için, daha önce tartıştığımız kola şişesi ve onun karbondioksit molekülleri örneğine bakarak, ilkel gazın yüksek entropili, düzensiz bir durumda olduğunu düşünebilirsiniz. Ama bu doğru olmaz. Daha önce entropiyi tartışırken, kütleçekimini tümüyle göz ardı etmiştik. Kola şişesinden kaçan az miktardaki gazın üzerinde kütleçekimi hemen hemen hiç rol oynamadığı için böyle yapmak anlamlıydı. Bu varsayımla, bir örnek olarak dağılmış olan gazın entropisinin yüksek olduğunu bulmuştuk. Ama işin içine kütleçekimi girdiğinde öykümüz bambaşka bir hale bürünür. Kütleçekimi, evrensel olarak çekici bir kuvvettir; bu nedenle eğer yeterince büyük kütleli bir gaz varsa, bu gazın her bölümü, diğer bütün bölümlerini çekeceği için gaz, tıpkı yağlı kâğıdın üzerinde damlacıklara ayrılan su gibi kümelenip parçalanacaktır. Kütleçekimi önemli ise ki evrenin yüksek- yoğunluklu ilk dönemlerinde öyleydi, kümelilik -birörneklik ya da düzgünlük değil- normaldi; Şekil 6.5'te gösterildiği gibi bu durum, gazın ona doğru evrilme eğilimi gösterdiği durumdu.



Şekil 6.5 Büyük gaz hacimleri için, kütleçekimi işin içine girdiğinde, atom ve moleküller düzgün dağılmış bir durumdan daha büyük ve daha yoğun kümeler içeren bir duruma doğru evrilirler.

Kümeler başlangıçtaki dağınık gazdan daha düzenli gibi görünüyorlarsa da -tıpkı oyuncakların gruplanarak birtakım kutulara konduğu oyun odalarının, bütün oyuncakların ortalığa dağılmış olduğu oyun odalarından daha düzenli göründüğü gibi- entropiyi hesaplarken bütün kaynaklardan gelen katkıları almanız gerekir. Oyun odasında, yerlere saçılmış, darmadağınık oyuncaklardan, gruplar halinde ayrı ayrı kutulara doldurulmuş oyuncaklara geçerken azalan entropi miktarı, odayı saatlerce temizleyip toplayan ve oyuncakları kutulara dolduran anne-babanın yaktığı yağ ve çevreye yaydıkları ısı ile yerine konur. Benzer şekilde, başlangıçtaki dağınık gaz bulutu için, gazın sıkışarak kümelenmesiyle azalan entropinin, gazın sıkışmasıyla üretilen ısı tarafından ve en sonunda dil nükleer süreçler başladığında salınan olağanüstü miktarda ısı ve ışık ile fazlasıyla yerine konduğunu bulursunuz.

Bu, bazen gözden kaçırdığımız önemli bir noktadır. Düzensizliğe doğru ezici gidiş, yıldızlar ve gezegenler gibi düzenli yapıların veya bitkiler ve hayvanlar gibi düzenli yaşam biçimlerinin oluşamayacağı anlamına gelmez. Oluşabilirler. Açıkça görüldüğü gibi, oluşmaktadırlar da. Termodinamiğin ikinci yasasının gerektirdiği şey, düzenliliğin oluşmasında genellikle gerektiğinden fazla dengeleyici düzensizlik üretimi olmasıdır. Bazı bileşenler daha çok düzene girmiş olsalar bile entropi dengesinde hâlâ düzensizdik ağır basmaktadır. Doğadaki temel kuvvetler arasında entropi çetelesinin bu özelliğinden sonuna kadar yararlanan, kütleçekimidir. Kütleçekimi devasa uzaklıklarda etkili olduğundan ve evrensel olarak çekici bir kuvvet olduğundan, gökyüzünün açık olduğu gecelerde ışıklarını gördüğümüz düzenli gaz kümelerinin -yıldızların- oluşmasına önayak olarak entropi artışının net bir biçimde dengeli olmasını sağlar.

Bir gaz kümesi ne kadar sıkışık, yoğun ve büyük kütleli ise, genel entropisi o kadar büyüktür. Kütleçekimsel kümelenmenin ve sıkıştırmanın en uç şekli olan kara delikler bunu sınıra götürürler. Bir kara deliğin kütleçekimi o kadar kuvvetlidir ki hiçbir şey, hatta ışık bile bu kütleçekiminden kurtulamaz ki bu da kara deliklerin neden kara olduğunu açıklar. Bu yüzden, sıradan yıldızların aksine, kara delikler ürettikleri entropinin tamamını son derece inatçı bir şekilde tutarlar: Hiçbir bölümü kara deliğin güçlü kütleçekiminden kaçamaz. Gerçekten. Bölüm 16 da inceleyeceğimiz gibi, evrendeki hiçbir şey, bir kara delikten daha fazla düzensizlik -daha fazla entropi- barındıramaz. Bu da sezgisel olarak anlamlıdır: Yüksek entropi, bileşenlerin birçok yeniden düzenlenmesinin dikkatten kaçacağı anlamına gelir. Kara deliğin içini göremeyeceğimiz için, bileşenlerinin -bu bileşenler ne olursa olsun- herhangi bir yeniden düzenlenmiş halini saptamamız olası değildir ve bu yüzden kara deliklerin entropisi en büyüktür. Kütleçekimi kaslarını sınıra kadar uzattığı zaman evrendeki bilinen en etkili entropi üreticisi haline gelir.

Şimdi, artık sorumluluğun aslında kimin olduğunun belirleneceği noktaya geldik. En son düzenlilik ve düşük entropi üretim kaynağı, Büyük Patlama'nın kendisi olmalı. İlk dönemlerinde olasılıkçı düşüncelerden beklediğimiz üzere, kara delikler gibi dev entropi kaynaklarıyla dolu olmak yerine, bir nedenle, doğmakta olan evren sıcak, birörnek ve gaz yapılı hidrojen ve helyum karışımıyla doluydu. Her ne kadar, yoğunlukların kütleçekimini ihmal edebileceğimiz kadar düşük olduğu bir durum olduğundan yüksek entropiye sahip ise de, o zaman, kütleçekiminin ihmal edilemeyeceği durumlarda böylesi birörnek bir gazın entropisi düşük olur. Kara deliklerle karşılaştırıldığında dağınık, hemen hemen birörnek olan gaz, olağandışı düşük- entropili bir durumdaydı. O zamandan bu yana, termodinamiğin ikinci yasasıyla uyumlu olarak, evrenin toplam entropisi, yani toplam, net düzensizlik miktarı yavaş yavaş artmaktadır. Yaklaşık bir milyar yıl ya da daha uzun bir zaman sonra kütleçekimi ilkel gazın kümelenmesine neden olmuş, kümeler sonuçta yıldızları, galaksileri oluşturmuş, bazı daha hafif kümelerse gezegenlere dönüşmüştür. Bu gezegenlerden en az birinin çevresinde ona düşük-entropili enerji sağlayan bir yıldız vardır. Bu enerji düşük-entropili yaşam biçimlerinin evrilmesini sağlamış, böyle yaşam biçimlerinin arasında bulunan bir tavuk, mutfak tezgâhınızın üzerindeki yumurtayı yumurtlamış, bu yumurta da sizi üzecek şekilde tezgâhtan yere düşerek kırılmış ve daha yüksek-entropili bir düzene geçmiştir. Yumurta kırılır takat yeniden toparlanıp yapışmaz çünkü evrenin yaratıldığı olağandışı düşük-entropili durumun başlattığı yüksek entropiye gidişi sürdürmektedir. Her şeyi başlatan, başlangıçtaki inanılmaz düzendir

ve o zamandan beri daha yüksek düzensizliğe doğru yavaş yavaş gelişen bir evrende yaşıyoruz.

Bu, bütün bu bölümde karşılaştığımız en afallatıcı bağlantıdır. Kırılan bir yumurta bize Büyük Patlama hakkında derin bir şeyler anlatır. Bize, Büyük Patlama'nın olağandışı düzenli bir evren doğurduğunu anlatır.

Aynı fikir, diğer bütün örneklere de uygulanır. Yaprakları birbirinden yeni ayrılmış Savaş ve Barışın yapraklarının havaya fırlatılışının yüksek entropili bir düzenle sonuçlanmasının nedeni, son derece düzenli, düşük entropili bir düzenle başlamasıdır. Sayfaların başlangıçtaki düzenliliği, onları entropi artışına hazırlamıştır. Tersine, eğer sayfalar başlangıçta karmakarışık olsaydı, havaya fırlatılmaları, entropi açısından pek bir fark yaratmazdı. Bu yüzden, soru, bir kez daha soralım, şudur: Bu sayfalar nasıl böyle düzenli olmuşlardır? Tolstoy onları bu sayfa sırasında sunulmaları için yazmış, matbaacı ve ciltçi de onun talimatlarına uymuşlardır. Tolstoy'un ve kitap üreticilerinin, böylesi yüksek düzenliliğe sahip bir kitabı yaratmalarını sağlayan yüksek düzenliliğe sahip olan bedenleri ve akılları, yumurtadan Büyük Patlamaya giden düşünce zinciri ile açıklanabilir. Gece 22:30'da görmüş olduğunuz, kısmen erimiş buz küplerinden ne haber? Şimdi belleklere ve kayıtlara güvendiğimiz için, saat 22:00'dan hemen önce barmenin bardağınıza tam oluşmuş buz küpleri koyduğunu hatırlıyorsunuz. Barmen bu buzları, kendileri de yüksek düzenliliğe sahip yaşam biçimleri olan ve bu nedenle de böylesi yüksek düzenliliğe sahip şeyler üretebilen zeki bir mühendisin tasarladığı ve yetenekli bir mekanik teknisyeninin ürettiği bir buz makinesinden almıştı. Burada da bu düzenlilikleri, birbiri ardısıra, evrenin düzenli kaynağına kadar izleyebiliriz.

Kritik Bir Girdi

Vardığımız nokta, eğer Büyük Patlama -evreni varlığa kavuşturan olay veya süreç- evreni olağandışı denebilecek ölçüde özel, düşük entropili yüksek ölçüde düzenli bir durumda başlatmışsa, ancak o zaman yüksek değil düşük entropili bir geçmişe ait belleğimize güvenebileceğimizi gösteriyor. Bu kritik girdi olmaksızın, entropinin belirli bir andan hem geçmişe ve hem de geleceğe doğru artması gerektiği yolundaki eski düşüncemiz bizim, gördüğümüz tüm düzenin, yüksek entropiye sahip, sıradan bir durumdan rasgele bir dalgalanmayla ortaya çıktığı sonucuna

varmamıza yol açar ki, bu sonuç da, görmüş olduğumuz gibi, üzerine temellendiği mantığa ters düşer. Ama çözümlememize evrenin olası olmayan, düşük entropili başlangıcını kattığımızda görüyoruz ki, doğru sonuç, olasılıkçı mantık, o yönde serbestçe, herhangi bir kısıtlama olmaksızın işlediği için, entropinin geleceğe doğru arttığı; olasılığın böyle kullanımı, evrenin yüksek değil, düşük entropiyle başladığı yolundaki yeni hükmümüze ters düşeceği için geçmişe doğru artmadığı şeklindedir. Bu nedenle evrenin başlangıcındaki koşullar, zaman okunun yönlenmesinde önemlidir. Gelecek gerçekte entropinin arttığı yöndür. Zamanın oku - olayların böyle başlayıp şöyle bittiği, hiçbir zaman şöyle başlayıp böyle bitmediği gerçeği- yolculuğuna evrenin başlangıçtaki yüksek düzenli, düşük-entropili halinde başlamıştır.

Kalan Bilmece

Genç evrenin zaman okunun yönünü belirlediği yolundaki sonuç mükemmel ve tatmin edici bir sonuçtur ama işimiz henüz bitmedi. Geriye dev bir bilmece kalıyor. Nasıl oldu da evren, her şeyin milyarlarca yıl boyunca yavaş yavaş gittikçe daha az düzenli, daha yüksek entropili durumlara doğru evrildiği, çok düzenli bir durum ile başladı? Bunun ne kadar olağanüstü olduğunu gözden kaçırmayın. Vurguladığımız gibi, olasılıkçı bakış açısından, saat 10:30'da kısmen erimiş olarak gördüğünüz buz küplerinin bir bardak sudan istatistiksel bir rastlantıyla ortaya çıkmış olmaları, tam oluşmuş buz küplerinin erimesiyle ortaya çıkmış olmalarından çok daha olasıdır. Buz küpleri için doğru olan şey, evren için de doğrudur. Olasılık açısından konuşursak, evrende şimdi görmekte olduğumuz her şeyin tam bir düzensizlikten ender ama ara sıra beklenen istatistiksel bir sapmayla ortaya çıkmış olma olasılığı, Büyük Patlama'nın gerektirdiği, olasılığı son derece düşük, son derece düzenli ve olağanüstü düşük-entropili başlama noktasından yavaş yavaş evrilmiş olması olasılığından akıllara durgunluk verecek kadar daha yüksektir.

Ama şansa inanır ve her şeyin istatistiksel bir rastlantıyla varlığa kavuştuğunu düşlersek, kendimizi bir bataklıkta buluruz: Bu yol, sorunun içine fizik yasalarını katar. Böylece zaman okunun açıklaması olarak düşük entropili Büyük Patlamayı ileri süreriz. O zaman bilmece evrenin böylesi düşük olasılıklı, yüksek ölçüde düzenli bir durumdan nasıl başladığının açıklanmasına dönüşür. Zaman okunun gösterdiği soru budur. Her şey kozmolojiye dayanır.

Kozmolojiyi ayrıntılı olarak 8. ve 11. Bölümler arasında işleyeceğiz ama önce bu incelememizde ciddi bir eksiklik olduğuna dikkat edin: Söylediğimiz her şey yalnızca klasik fizik yasaları üzerinde temelleniyor. Şimdi de zaman anlayışımızı ve zamanın okunu izleyişimizi kuantum mekaniğinin nasıl etkilediğini görelim.

VII. Bölüm - Zaman ve Kuantum

Kuantum Dünyasından Zamanın Doğasını Çıkarsamak

Zaman gibi, içinde olduğumuz, gündelik varlığımızla tamamen bütünleşmiş olan, ortak dilimizden -bir an için bile olsa- çıkarılıp atılamayacak kadar yaygın olan bir kavram hakkında düşünürken mantığımız, deneyimlerimizin ve yaşantımızın baskısıyla şekillenir. Bu gündelik deneyimler, klasik deneyimlerdir; büyük bir doğruluk derecesiyle üç yüzyıldan daha uzun bir süre önce Newton tarafından temelleri atılan fizik yasalarına uyarlar. Ama son yüz yılda fizikteki keşifler içinde, klasik fiziğe ilişkin bütün kavramsal şemamızı alt-üst ettiği için, kuantum mekaniği uzak ara en şaşırtıcı olanıdır.

O nedenle klasik deneyimlerimizi, kuantum süreçlerinin zamanda nasıl geliştiğine ilişkin, hayret verici özelliklerini göz önüne alarak genişletmek son derece yararlı olacaktır. Bu genişletilmiş bağlamda, geçen bölümdeki tartışmamıza devam ederek, zamanın kuantum mekaniğine özgü tanımında zamansal bir ok bulunup bulunmadığını soracağız. Fizikçiler arasında bile tartışmalı olan bir cevaba ulaşacağız. Bu bizi bir kere daha evrenin oluşumuna geri götürecektir.

Kuantuma Göre Geçmiş

Olasılık geçen bölümde önemli bir rol oynuyordu ama orada da birkaç kere vurguladığım gibi, bunun nedeni pratik yararı ve sağladığı bilginin kullanışlı olmasıydı. Bir bardak suyun içinde bulunan 1024 H2O molekülünün tam hareketlerini izlemek, hesaplama kapasitemizin çok çok ötesindedir; bunu yapabilsek bile sonuçta ortaya çıkan dağ gibi verilerle ne yaparız? 1024 konum ve hız değerini kullanarak, bardağın içinde buz olup olmadığını belirlemek çok zor bir iştir. O nedenle hesapları izlenebilir olan, üstelik genellikle bizim ilgilendiğimiz makroskopik özelliklerle -düzenlilik-

düzensizlik, (örneğin buz-su)- uğraşan olasılıkçı mantığa geçtik. Ama unutmamak gerekir ki, olasılık kavramı hiçbir şekilde klasik fiziğin dokusuna işlenmiş değildir. ilke olarak, bazı şeylerin şimdi nasıl olduğunu kesin bir şekilde biliyor olsaydık -evreni oluşturan her parçacığın konumunu ve hızını biliyor olsaydık- klasik fizik, bu bilginin, bunların gelecekte belirli bir anda nasıl olacağını veya geçmişte belirli bir anda nasıl olduğunu hesaplayabileceğimizi söyler. Evrenin gerçekten an be an gelişmesini izliyor olun ya da olmayın, klasik fiziğe göre, ilke olarak, geçmiş ve gelecek konusunda, günümüzdeki gözlemlerinizin doğruluğu ve ayrıntılarıyla belirlenen bir güvenle konuşabilirsiniz.

Olasılık bu bölümde de kilit bir rol oynayacaktır. Ama olasılık, kuantum mekaniğinin kaçınılmaz bir öğesi olduğu için, geçmiş ve geleceği kavramsallaştırma yöntemimizi kökten değiştirir. Kuantum belirsizliğinin kesin konumlar ve kesin hızlar hakkında eşanlı olarak bilgi sahibi olmamızı engellediğini zaten görmüştük. Benzer biçimde kuantum fiziğinin yalnızca geleceklerden biri ya da diğerinin gerçekleşme olasılığını hesapladığını da görmüştük. Bu olasılıklara elbette güveniriz ama bunlar olasılık olduğu için, konu geleceği tahmin etmeye geldiğinde kaçınılmaz bir şans faktörü de vardır.

Konu geçmişin tanımlanması olduğunda da klasik fizikle kuantum fiziği arasında kritik bir fark vardır. Zamanın tüm anlarına eşit davranan klasik fizikte gözlediğimiz bir şeye yol açan olaylar, gözlemin kendisini tanımlamakta kullandığımız dille, aynı atıflar kullanılarak tanımlanır. Eğer geceleyin gökyüzünde büyük bir meteor (akanyıldız) görmüşsek, konumundan ve hızından konuşuruz; eğer oraya nasıl geldiğini düşünürsek, göktaşının Dünyaya yaklaşırken sahip olduğu bir dizi konum ve hızdan da söz ederiz. Ama kuantum fiziğinde, bir kere bir şeyi gözlediğimizde, her şeyi yüzde 100 kesinlikle bildiğimiz, (aletlerin duyarlılığı ve benzeri konuları göz ardı ederek) yoğunluğu azaltılmış bir alana gireriz. Ama geçmiş -ki burada, özel olarak "gözlenmemiş" geçmiş, bizden önceki bir zaman, birisi veya herhangi bir şeyin belirli bir gözlemi yapmış olduğu zaman kastediliyor- olasılıkların kuantum belirsizliğinin alanında kalır. Eğer bir elektronun konumunu burada ve hemen şimdi ölçsek bile, bir an önce elektronun sahip olduğu söylenebilecek şeyler; yalnızca elektronun burada, orada veya ötede olma olasılıklarıdır.

Ve görmüş olduğumuz gibi konu, elektronun (veya bu anlamda herhangi bir parçacığın) bu olası konumlardan yalnızca birinde bulunduğu ama bunun hangisi olduğunu bizim bilemiyor olmamız değildir." Daha çok, bu olasılıklardan her biri -olası geçmişlerden her biri- şimdi gözlediğimiz şeye katkıda bulunduğundan, elektronun bu konumların hepsinde birden bulunduğu gibi bir duygu vardır. Hatırlarsanız, Bölüm 4'te tanımlanan ve elektronların iki ince yarıktan geçmeye zorlandıkları deneyde bunun kanıtını görmüştük. Olayların tek, sıradan geçmişlerinin olduğuna ilişkin yaygın inanca dayanan klasik fizik, ekrana ulaşan herhangi bir elektronun ya sağdaki ya da soldaki yarıktan geçtiğini söyler. Ama geçmişe böyle bakmak bizi yanlış yöne götürür: Bu bakışla, Şekil 4.3a da gösterilen sonuçların alınacağı tahmin edilir ama bu, gerçekleşen ve Şekil 4.3b'de gösterilen sonuçla uyuşmaz. Gözlenen girişim deseni yalnızca yarıkların ikisinden birden geçen bir şeyin üst üste binmesiyle açıklanabilir.

Kuantum fiziği böyle bir açıklama sağlar ama böyle yaparken de geçmişe ilişkin öykülerimizi -gözlediğimiz şeylerin nasıl ortaya çıktığı- köklü bir şekilde değiştirir. Kuantum mekaniğine göre, her elektronun olasılık dalgası iki delikten birden geçer ve her yarıktan geçen dalganın bölümleri birbirine karıştığı için, ortaya çıkan olasılık profili ve dolayısıyla elektronların ekrana çarpma noktaları da girişim deseni sergiler.

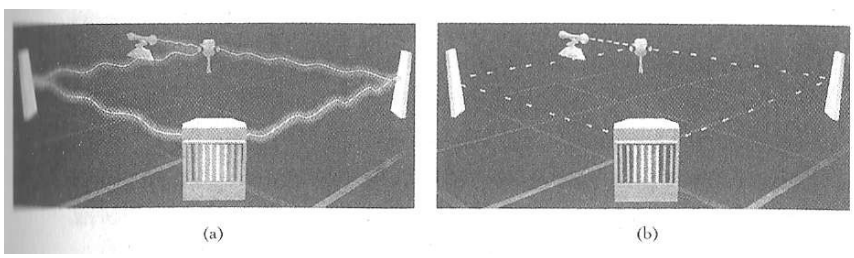
Gündelik deneyimlerle karşılaştırılırsa, elektronun geçmişini birbirine çapraz geçen olasılık dalgalarıyla tanımlamak bize çok yabancıdır. Ama ihtiyatı bir kenara bırakarak, kuantum mekaniğine özgü bu tanımı bir adım öteye götürebilir ve kulağa çok daha acayip gelen bir olasılığa yol açacak bir öneride bulunabilirsiniz. Belki de her elektron, ekrana doğru giderken gerçekten her iki delikten birden geçiyordur ve veriler de bu iki geçmiş sınıfı arasındaki girişimden kaynaklanıyordur. Yani, iki yarıktan çıkan dalganın tek bir elektronun iki olası geçmişini -soldaki yarıktan geçen veya sağdaki yarıktan geçen- temsil ettiğini düşünmek çok çekicidir ve ekranda gözlediğimiz şeye her iki dalga da katkıda bulunduğundan, belki de kuantum mekaniği bize elektronun her iki potansiyel geçmişinin katkıda bulunduğunu da söylüyor olabilir.

Yirminci yüzyılın en yaratıcı fizikçilerinden olan Nobel ödüllü Richard Feynman'ın fikir babalığını yaptığı bu şaşırtıcı fikir kuantum mekaniği hakkında mükemmel bir şekle uygulanabilir bir düşünüş şekli sağlıyor.

Feynman'a göre, belirli bir sonuca ulaşılabilecek yol seçenekleri varsa -örneğin bir elektronun ekranda bir noktaya soldaki yarıktan geçerek vurması veya aynı noktaya sağdaki yarıktan geçerek vurması- o zaman, seçenek geçmişlerin hepsinin gerçekleşeceği ve eşanlı olarak gerçekleşeceği kanısı vardır. Feynman, böylesi her geçmişin, ortak sonuçların gerçekleşmesi olasılığına katkıda bulunacağını ve eğer bu katkılar doğru bir şekilde toplanırsa, sonucun kuantum mekaniği tarafından hesaplanan toplam olasılıkla uyuşacağını gösterdi.

Feynman, buna kuantum mekaniğine geçmişler üzerinden toplama yaklaşımı adını verdi. Bu yaklaşım, olasılık dalgasının, verilen bir gözlemin öncesinde yaşanmış olabilecek bütün olası geçmişleri somutlaştırdığını gösterir ve klasik fiziğin çöktüğü yerde başarılı olabilmek için kuantum mekaniğinin geçmiş yapısını genişletmesi gerektiğini çok iyi açıklar.

Oz'a noktada ulaşıyor olabilir. Detektör iki dalganın toplam yüksekliğini ve bu yolla da karakteristik bir girişim deseni kaydeder.



Şekil 7.1 (a) Bir demet-bölücü deneyinde, lazer ışığı detektör ekranına değişik yollardan giden iki demete ayrılır, (b) Lazerin gücü tek tek Fotonlar gönderecek şekilde azaltılır; zamanla fotonların çarpma noktaları bir girişim deseni sergiler.

Çift yarık deneyinin, ekrana giden iki yol birbirinden daha iyi ayrıldığı için, geçmiş seçenekleri arasındaki girişimin çok daha açık olduğu bir çeşitlemesi daha vardır. Deneyi fotonları kullanarak anlatmak elektronları kullanarak anlatmaktan biraz daha kolay olduğundan, işe bir foton kaynağıyla -bir lazerle- başlıyor ve bu lazer demetini, bir demet bölücüye doğru tutuyoruz. Bu alet, gözaltı-odalarında kullanılanlar gibi, yarı-geçirgen bir aynadan yapılmış olup, üzerine gelen ışığın yarısını geçirir, yarısını ise yansıtır. Böylece başlangıçtaki tek ışık demeti tıpkı çift yarık deneyindeki iki yarığa düştüğündeki gibi, soldaki demet ve sağdaki demet olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 7. 1 de görüldüğü gibi, akıllıca yerleştirilmiş tam-

yansıtan aynalar kullanılarak detektörün konumunda bu iki demet tekrar bir araya getirilir. Maxwell'in tanımında olduğu gibi, ışığı bir dalga olarak ele alırsak, ekranda bir girişim deseni görmeyi bekleriz ve gerçekten de görürüz. Soldaki ve sağdaki demetlerin ekrana kadar kat ettikleri yollar birbirinden çok az da olsa farklı olduğu için soldaki demet ekranda belirli bir noktaya tam tepe noktasında ulaşırken sağdaki demet aynı noktaya tepe, çukur veya arada herhangi bir lazerin şiddetini diyelim birkaç saniyede bir tek foton gönderecek şekilde azalttığımız zaman klasik / kuantum ayrımı belirgin hale gelir. Tek bir foton demet bölücüye çarptığı zaman, klasik önsezi bu fotonun ya iletileceğini ya da yansıtılacağını öngörür. Klasik mantık, herhangi bir tür girişimin ipuçlarına bile yer vermez, çünkü ortada girişecek şeyler yoktur: Elimizde bulunan, kaynaktan detektöre doğru, kimi soldan, kimi sağdan tek tek giden fotonlardır. Ama deney yapıldığında, Şekil 4.4'teki gibi zamana göre kaydedilen tek tek fotonlar, Şekil 7.1'de görüldüğü gibi bir girişim deseni oluştururlar. Kuantum mekaniğine göre bunun nedeni, ölçülen her fotonun detektöre soldaki yoldan veya sağdaki yoldan ulaşmış olabileceğidir. Bu nedenle, totonun belirlenen bir noktaya veya diğerine çarpma olasılığını belirlemek için, bu iki olası geçmişi birleştirmek zorunda kalıyoruz. Her foton için soldaki ve sağdaki olasılık dalgası bu yolla birleştirildiğinde, dalga girişiminin dalgalanan olasılık desenini verir. Bu nedenle, Oz'a doğru gideceği yolu gösteren tabelanın iki yönü birden göstermesi karşısında şaşıran Dorothy'den farklı olarak, veriler, her fotonun detektöre doğru giderken hem soldaki hem de sağdaki yolları kullandığının varsayılmasıyla mükemmel bir biçimde açıklanabilir.

Seçim Yapma

Her ne kadar olası geçmişlerin birleştirilmesini birkaç özel örnek bağlamında tanımlamış olsak da, kuantum mekaniği hakkında bu düşünce şekli geneldir. Klasik fizik şimdiki zamanı tek bir geçmişe sahip olarak tanımlarken, kuantum mekaniğinin olasılık dalgalan geçmiş arenasını genişletiyor: Feynman'ın formülleştirmesine göre, gözlenen şimdiki zaman, gördüğümüzle bağdaşacak bütün olası geçmişlerin bir karışım, özel bir çeşit ortalamasıdır.

Çift-yarık ve demet-bölücü deneylerinde fotonun veya elektronun kaynaktan ekrana kadar gidebileceği iki yol -soldan gidiş veya sağdan gidiş- vardır ve yalnızca olası geçmişleri birleştirerek gördüklerimizi açıklayabiliriz. Eğer engelde üç yarık olsaydı, üç çeşit geçmişi göz önüne almak zorunda kalırdık; 300 yarıkla, ortaya çıkan bütün olası geçmişlerin katkılarını hesaba katmak zorunda kalırdık. Bunu sınıra götürürsek -eğer engelin ortadan kalkacağı kadar çok yarık açtığımızı düşünürsek kuantum fiziği her elektronun, ekranda belirli bir noktaya varmak için olası her yoldan geçeceğini ve ortaya çıkan verileri ancak böylesi geçmişlerle ilgili olasılıkları birleştirerek açıklayabileceğimizi söyler. Bu, kulağa garip gelebilir. (Zaten garip.) Ama geçmiş zamanlara böyle garip yaklaşımlar Şekil 4.4'teki, Şekil 7.1 'deki verileri ve mikro dünya ile ilgili öbür deneyleri açıklamaktadır.

Geçmiş üzerinden toplam tanımını ne ölçüde doğru olarak almanız gerektiği merak ediyor olabilirsiniz. Detektör ekranına çarpan bir elektron, oraya gerçekten olası bütün yolları izleyerek mi gider, yoksa Feynman'ın reçetesi yalnızca doğru cevabı bulmak için zekice ortaya atılmış matematiksel bir icat mıdır? Bu, kuantum gerçekliğinin gerçek doğasını değerlendirmek için gereken kilit sorular arasındadır, bunun için keşke size kesin bir cevap verebilseydim. Ama veremem. Fizikçiler çoğu zaman geçmişlerin birleştirildiği bakış açısını son derece yararlı bulurlar; bu kavramı kendi araştırmamda o kadar sık kullanıyorum ki, bana neredeyse gerçekmiş gibi geliyor. Ama bu, onun gerçek olduğunu söylemekle aynı anlama gelme%. Önemli nokta şudur ki kuantum hesaplamaları bize, elektronun ekranda belirli bir noktaya veya bir başkasına çarpma olasılığını hiç kuşkuya yer kalmayacak şekilde söyler ve bu hesaplamalar da verilerle tam bir isabetle uyuşur. Kuramın kanıtlanması ve hesaplamadaki yararlılığı açısından bakıldığında, elektronun ekrandaki bir noktaya nasıl ulaştığı konusunda anlattığımız öykünün fazla bir önemi yoktur.

Ama elbette eğer üstelerseniz, deney düzeneğini değiştirerek, gözlenen şimdiki zamana birleşen, bulanık olası geçmişler karışımını izleyebilmemiz durumunda gerçekten ne olacağı konusunu kararlaştırabiliriz. iyi bir öneri, ama şimdiden bunun için bir engel olması gerektiğini biliyoruz. Bölüm 4'te olasılık dalgalarının doğrudan gözlenemediğini öğrenmiştik; Feynman'ın birleşen geçmişleri olasılık dalgaları konusunda düşünmenin özel bir yolundan başka bir şey olmadığı için, onlar da doğrudan gözlenemiyor

olmalılar. Öyledirler de. Gözlemler bireysel geçmişleri ayıramazlar; gözlemler, tüm olası geçmişlerin ortalamalarım yansıtırlar. Dolayısıyla elektronları yoldayken gözlemek üzere deney düzeneğini değiştirirseniz, her elektronun şu veya bu konuma yerleştirdiğiniz ek detektörden geçtiğini göreceksiniz; hiçbir zaman bulanık geçmişler toplamını görmeyeceksiniz. Neden elektronu şu veya bu konumda gördüğünüzü açıklamak üzere kuantum mekaniğini kullandığınız zaman, cevap, bu ara gözleme yol açmış olabilecek bütün olası geçmişlerin ortalamasını içerecektir. Ama gözlemin kendisi, yalnızca o ana kadar birleşmiş geçmişlere ulaşabilir. Hareket halindeki elektrona bakarak geçmişle kastettiğiniz kavramı yalnızca geriye itmiş oldunuz. Kuantum mekaniği katı bir biçimde verimlidir: Gördüğünüzü açıklar ama açıklamayı görmenize izin vermez.

Daha fazlasını da sorabilirsiniz: O zaman hareketi tek geçmişler ve yörüngelerle açıklayan klasik fizik -sağduyu fiziği- evreni nasıl açıklayabiliyor? Neden beyzbol toplarından gezegenlere ve kuyrukluyıldızlara kadar her şeyin hareketini açıklarken ve hesaplarken bu kadar iyi işliyor? Nasıl oluyor da gündelik hayatta acayip bir yolla, geçmişin şimdiki zamana doğru görünüşte geliştiğine ilişkin bir kanıt bulunmuyor? Bunların nedeni, Bölüm 4'te kısaca açıklandığı ve yakında daha büyük bir kesinlikle inceleneceği gibi, beyzbol toplarının, gezegenlerin ve kuyrukluyıldızların, büyük olmaları, en azından elektron gibi parçacıklarla karşılaştırıldıklarında büyük olmalarıdır. Kuantum mekaniğinde bir şey ne kadar büyükse, ortalama alma işlemi o kadar çarpık olur: Uçmakta olan bir beyzbol topunun hareketine bütün olası yörüngeler katkıda bulunur ama normal yol -Newton yasalarıyla hesaplanan tek yol- tüm diğer yolların toplamından daha fazla katkıda bulunur. Büyük cisimler için klasik yolların, ortalama alma sürecindeki en baskın katkıda bulunan, bu nedenle de bize tanıdık gelen yollar olduğu ortaya çıkıyor. Ama cisimler elektronlar, kuarklar ve fotonlar gibi küçük olduğu zaman, çok sayıda farklı geçmiş, yaklaşık olarak aynı düzeyde katkıda bulunurlar, bu yüzden de hepsi ortalama alma sürecinde önemli roller oynarlar. Son olarak şöyle sorabilirsiniz: Gözlem ya da ölçüm eylemlerinin ne özelliği var da bütün olası geçmişleri birleştirerek tek bir sonuç vermeye zorluyor? Gözlem eylemimiz parçacığa şimdi artık geçmişlerin bir listesini yapıp onları birleştirme, ortalamalarını alma ve kesin bir sonuç verme zamanının geldiğini nasıl iletiyor? Neden biz insanların ve bizim yaptığımız aletlerin

böyle özel bir gücü var? Bu özel bir şey mi? Ya da insanın gözlem eylemi, daha yaygın çevresel etki yapısı kapsamına giriyor ve böylece, kuantum mekaniğine özgü olarak konuşursak, bizim hiç de özel olmadığımızı gösteriyor olabilir mi? Yalnızca kuantum gerçekliğinin doğası konusunda merkezi öneme sahip oldukları için değil, kuantum mekaniği ve zamanın oku konularında bir düşünce yapısı da oluşturdukları için bu şaşırtıcı ve ihtilaflı konuları bu bölümün ikinci yarısında ele alacağız.

Kuantum mekaniğine özgü ortalamaların hesaplanması önemli bir teknik eğitim gerektirir. Ortalama listelerinin ne zaman, nasıl ve nerede tutulacağını tam olarak anlamak, fizikçilerin hâlâ formülleştirmeye çalıştıkları kavram kır gerektirir. Ama temel bir ders, basit bir biçimde şöyle ifade edilebilir: Kuantum mekaniği son seçim yapma arenasıdır; bir şeyin buradan oraya giderken yapabileceği her olası "seçim", bir olası sonuç veya diğeriyle ilişkili olan kuantum mekaniğine özgü bir olasılıkta kapsanır.

Klasik fizik ve kuantum fiziği geçmişe çok farklı şekillerde davranırlar.

Geçmişi Budamak

Bölünemez bir nesnenin -bir elektron veya bir fotonun- eşanlı olarak birden fazla yolda hareket ettiğini düşünmek, klasik yetişme tarzımıza tamamen ters düşer. Kendini en iyi kontrol edebilenlerimiz bile gizlice bir göz atma eğilimine çok zor karşı koyar: Elektron ya da foton iki yarıklı ekrandan veya demet bölücüden geçerken, gerçekten hangi yolu izlediğini görmek için neden çabucak bir göz atmıyoruz? Çift yarık deneyinde neden her iki yarığın önüne de küçük birer detektör koyarak elektronun (ekrandaki ana detektöre doğru yoluna devam ederken) bu yarıkların birinden mi, diğerinden mi yoksa her ikisinden birden mi geçtiğini anlamaya çalışmıyoruz? Demet bölücü deneyinde neden demet bölücüden çıkan her iki yolun üzerine küçük detektörler koyarak fotonun (gene ekrandaki ana detektöre doğru yoluna devam ederken) soldaki yoldan mı, sağdaki yoldan mı yoksa her ikisinden birden mi geçtiğini belirlemiyoruz?

Cevap, bu ek detektörleri yerleştirebileceğiniz şeklindedir ama bunu yaparsanız iki şey bulursunuz. Birincisi, her elektron ve her fotonun daima bu detektörlerden birinden ve yalnızca birinden geçtiği bulunacaktır; yani

elektron veya fotonun hangi yoldan geçtiğini belirleyebilirsiniz ve bulacağınız şey, bunların detektörlerin ya birinden ya da diğerinden geçtiği, hiçbir zaman ikisinden birden geçmediği şeklinde olacaktır, ikincisi, ana detektörlerin kaydettiği sonuç verilerinin de değişmiş olduğunu bulacaksınız. Şekil 4.3b ve Şekil 7.1b'deki girişim desenlerini elde etmek yerine, Şekil 4.3a'da görüldüğü gibi, klasik fizikten beklenecek sonuçlan alacaksınız. Yeni öğeler -yeni detektörler ekleyerek deneyi istemeden de olsa değiştirmiş oldunuz. Değişiklik, ortaya çıkarmak istediğiniz çelişkiyi -şimdi artık parçacığın hangi yoldan geçtiğini biliyorsunuz, o zaman parçacığın geçmediği kanıtlanan diğer yolla bir girişim nasıl olabilir?- ortadan kaldırmış olur. Bunun nedeni son alt-bölümde bulunabilir. Yeni gözleminiz, kendisinin ortaya çıkardığı şey her ne ise, ondan önce gelen geçmişlerden birini seçip ayırır. Fotonun hangi yoldan gittiğini belirleyen şey bu gözlem olduğu için, yalnızca bu yoldan geçen geçmişleri göz önüne alırız ki, bu da girişim olasılığını ortadan kaldırır.

Niels Bohr böyle şeyleri kendisinin ortaya koyduğu tamamlayıcılık ilkesini kullanarak özetlemekten hoşlanırdı. Her elektron, her foton ve aslına bakılırsa her şey hem dalga, hem de parçacık özelliklerine sahiptir. Bunlar birbirlerini tamamlayıcı özelliklerdir. Parçacıkların tek yörüngede hareket ettiği parçacık yapısıyla düşünmek eksik kalır çünkü bu bakış açısı girişim desenlerinin gösterdiği dalga özelliklerini açıklayamaz.

Yalnızca dalga yapısıyla düşünmek de eksik kalır çünkü bu bakış açısı konumları belli parçacıklar, örneğin ekranda tek bir nokta olarak kaydedilen parçacıklar bulan ölçümlerin gösterdiği parçacık özelliklerini açıklayamaz (Şekil 4.4'e bakınız). Tam bir bakış açısı, birbirlerini tamamlayan her iki yanın da hesaba katılmasını gerektirir. Verilen herhangi bir durumda, onunla nasıl etkileşmeyi seçtiğinize bağlı olarak bu özelliklerden birinin daha baskın olmasını sağlayabilirsiniz. Eğer elektronların kaynaktan ekrana kadar gözlenmeden gitmelerine izin verirseniz, elektronların dalga özellikleri ön plana çıkar, bu da girişimle sonuçlanır. Ama elektronları yoldayken gözlerseniz, hangi yoldan gittiklerini bilirsiniz ama o zaman da girişimi açıklamakta zorluklarınız olur. Burada gerçeklik imdada yetişir. Yaptığınız gözlem kuantum geçmişinin dallarını budar. Gözleminiz elektronu parçacık olarak davranmaya zorlar; parçacıklar da şu veya bu yoldan gittikleri için, girişim deseni oluşmaz, o zaman da zaten açıklayacak bir şey yoktur.

Doğa acayip şeyler yapar. Sınırda yaşar. Ama mantıksal çelişkinin öldürücü yumruğundan kaçınmak için son derece dikkatlidir.

Geçmişin Beklenmedik Halleri

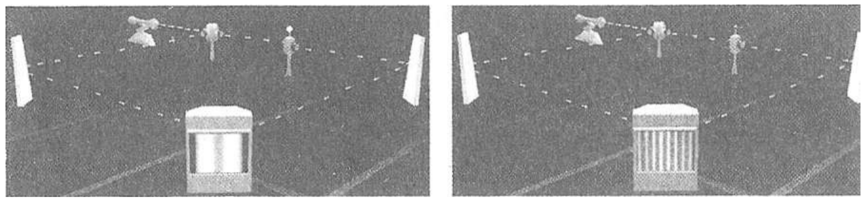
Bu deneyler önemlidir. Onlar, dünyamızın Newton, Maxwell ve Einstein'ın klasik yasalarıyla -şimdi yeterince büyük ölçeklerdeki olayları tanımlamakta kullanılan güçlü ve önsezi dolu yaklaşımlar olarak bildiğimiz yasalar- değil, yirminci yüzyılda yaşayan fizikçilerin bulduğu kuantum yasalarıyla yönetildiğinin basit ama güçlü bir kanıtını oluştururlar. Zaten kuantum yasalarının, geçmişte ne olduğu yolundaki bildiğimiz kavramlara -şimdi gördüklerimizden sorumlu olan geçmişteki olaylar- meydan okuduğunu görmüştük. Bu deneylerin bazı basit çeşitlemeleri bu meydan okumayı, olayların zamanda daha yüksek, hatta daha şaşırtıcı bir düzeye doğru nasıl geliştiği konusuna kadar taşırlar.

Gecikmiş-seçim deneyi adını alan ilk çeşitleme 1980 yılında ünlü fizikçi John Wheeler tarafından ortaya atıldı. Deney, kulağa ürpertici derecede garip gelen bir soruya dokunuyor: Geçmiş geleceğe bağlı mıdır? Ama dikkat ederseniz bu, geriye gidip geçmişi değiştirip değiştiremeyeceğimizle aynı soru değil (Bölüm 15'te inceleyeceğimiz konu). Yapılmış ve oldukça ayrıntılı olarak çözümlenmiş olan Wheeler'in deneyi, geçmişte, hatta uzak geçmişte yer almış olduğunu varsaydığımız olaylarla şimdi olduğunu gördüğümüz olaylar arasındaki kışkırtıcı ilişkiyi açığa çıkarır.

Konunun fiziğini anlamak için, sanat koleksiyoncusu olduğunuzu varsayın ve yeni Springfield Sanat ve Güzelleştirme Derneği'nin başkanı olan Bay Smithers da sizin satışa çıkardığınız çeşitli parçaları görmek üzere geliyor olsun. Aslında onun gerçekten ilgi duyduğu şeyin, koleksiyonunuza hiç uymadığını düşündüğünüz ama size çok sevdiğiniz büyük amcanız Monty Burns'den kaldığı için satıp satmamak konusunda büyük bir duygusal çatışma yaşadığınız The Full Monty olduğunu biliyorsunuz. Bay Smithers geldiğinde koleksiyonunuzdan, son müzayedelerden, Metropolitan'daki son gösteriden söz ediyorsunuz; sonra, şaşırtıcı bir şekilde, yıllar önce Bay Smithers in büyük amcanızın başyardımcısı olduğunu öğreniyorsunuz. Konuşmanın sonunda Full Monty ile

vedalaşmaya istekli olduğunuza karar veriyorsunuz: istediğiniz çok sayıda başka eser var ve eğer kendinize baskı uygulamazsanız, koleksiyonunuzun odaklandığı bir tema olmayacak. Kendinize her zaman söylediğiniz gibi sanat koleksiyonculuğu dünyasında bazen fazla, azdır. Bu karar üzerine düşünürken geçmişe baktığınızda zaten Bay Smithers gelmeden önce satmaya karar vermişsiniz gibi görünüyor. Her ne kadar Full Monty'ye öteden beri belli bir sevginiz varsa da, epeydir birbiriyle uyumsuz eserleri "yığma" konusunda ihtiyatlısınız, zaten yirminci yüzyıl sonunun erotik-nükleer gerçekçiliği de, yeterince olgun olmayan koleksiyoncular için korkutucu bir alandır. Her ne kadar ziyaretçiniz gelmeden önce ne yapacağınızı bilmediğinizi düşündüğünüzü hatırlıyorsanız da, şimdi, o gelmeden önce sanki ne yapacağınızı biliyormuşsunuz gibi görünü-yor. Bu, tam olarak geleceğin geçmişi etkilemesi değil ama Bay Smithers la hoşunuza giden konuşmanız ve sonrasında satmaya istekli olduğunuzu bildirmeniz, geçmişi bir anlamda o zaman henüz karar verilmemiş gibi gözüken özel şeyleri kesinleştirme yolunda aydınlatmış gibi duruyor. Sanki Bay Smithers'le konuşmanız ve satma kararını açıklamanız, çoktan verilmiş bir kararı, açıklanması gün ışığını bekleyen bir kararı kabul etmenize yardımcı olmuştur. Gelecek, geçmişte sürmekte olan bir şeyin daha lam bir öyküsünü anlatmanıza yardım etmiştir.

Elbette bu örnekte gelecekteki olaylar yalnızca sizin geçmiş algınızı ya da yorumunuzu etkilemektedir, o nedenle şaşırtıcı ya da kafa karıştırıcı değildir. Ama Wheeler'in gecikmiş seçim deneyi gelecekle geçmiş arasındaki bu psikolojik oyunu kuantum dünyasına taşır ki, bu deney orada daha kesin ve daha şaşırtıcı bir hal alır. Şekil 7. la da gösterilen deneyi biraz değiştirerek işe başlayalım öyle ki, şiddeti iyice azaltılan lazer, fotonları Şekil 7.1b'deki gibi tek tek göndermeye başlasın. Aynı zamanda demet bölücünün yanına bir foton detektörü daha koyalım. Eğer yeni detektör kapatılırsa (Şekil 7.2b'ye bakınız), o zaman özgün deney düzeneğine geri dönmüş oluruz ve fotonlar ekrandaki fotoğraf plağında girişim desenleri oluştururlar. Ama eğer yeni detektör açılırsa (Şekil 7.2a), bize fotonun hangi yoldan gittiğini söyler: Eğer fotonu saptamışsa, foton o yoldan gitmiş demektir; saptayamamışsa, diğer yoldan gitmiş demektir. Böyle bir "hangi yoldan" bilgisi, fotonu bir parçacık olarak davranmaya zorlar, o zaman da dalga karakterli girişim deseni artık üretilmez.



Şekil 7.2 (a) "Hangi yoldan" detektörlerini açmakla girişim desenini bozarız, (b) Yeni detektörler kapatıldığında Şekil 7.1 'deki özgün deneye geri döneriz ve girişim deseni ortaya çıkar.

Şimdi de düzeneği Wheeler metoduyla, yeni foton detektörünü fotonun izleyeceği yollardan birinin üzerinde ekrana doğru kaydırarak değiştirelim. ilke olarak fotonların yolları istediğiniz kadar uzun olabilir, dolayısıyla yeni detektör demet bölücüden epeyce uzakta olabilir. Gene, eğer bu yeni toton detektörü kapatılırsa, fotonlar ekranda bir girişim deseni oluştururlar. Eğer detektör açılırsa, "hangi yoldan" bilgisi verir ve bu nedenle girişim desenine engel olur.

Yeni tuhaflık "hangi-yoldan" ölçümünün, totonun demet bölücüde her iki yoldan birden gidip dalga gibi davranmak veya yollardan birini seçip parçacık gibi davranmak "kararını" verdiği yerden çok sonra yer alıyor olmasıdır. Foton demet bölücüden geçerken detektörün açık mı kapalı mı olduğunu "bilemez", aslına bakılırsa detektörün açık-kapalı anahtarı foton demet bölücüden geçtikten sonra açılıp kapatılacak şekilde de ayarlanabilir. Detektörün kapalı olma olasılığına karşı hazırlıklı olmak için fotonun olasılık dalgası ikiye ayrılıp iki detektörden birden geçmek durumundadır, böylece ikisinin karışımı ekranda gözlenen girişim desenini yaratır. Ama eğer yeni detektör açık durumdaysa -veya foton demet bölücüden geçtikten sonra açılırsa- o zaman foton bir kimlik bunalımıyla karşı karşıya kalacak gibi görünüyor. Demet bölücüden geçerken, iki yoldan birden giderek dalga karakterini ortaya koymuştu, ama şimdi, seçimini yaptıktan bir süre sonra, parçacık olmanın gerektirdiği gibi, bu yollardan yalnızca birinden geçmiş olması gerektiğini "anlamaktadır".

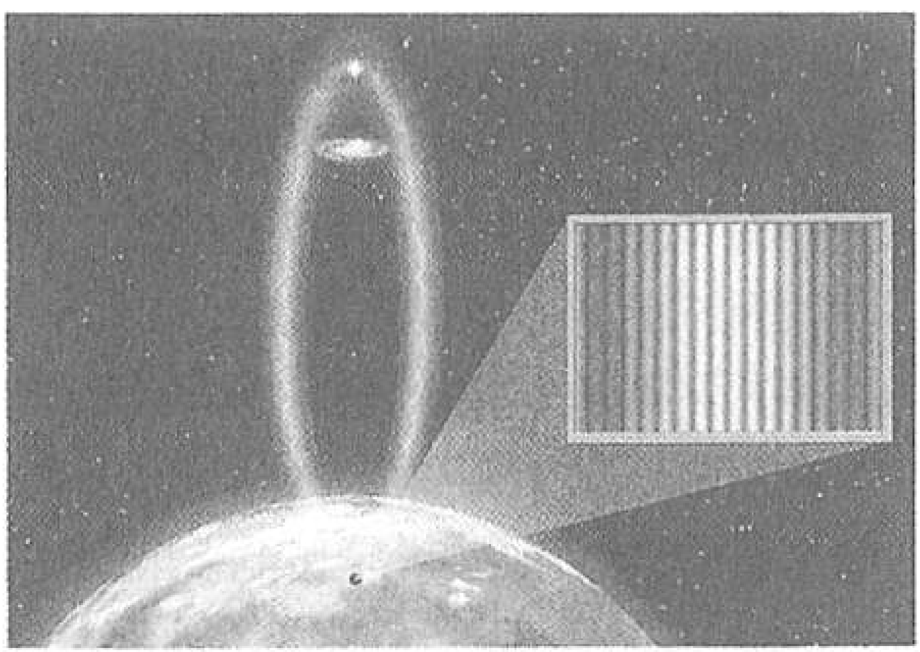
Bütün bunlara rağmen, bir şekilde fotonlar hep doğru tercihleri yaparlar. Ne zaman detektör açık olsa -gene, detektör fotonun demet bölücüden geçmesinden sonra açılmış olsa bile- foton tam bir parçacık gibi davranır. Ekrana yalnızca tek bir yoldan gittiği bulunur (eğer her iki yola da foton detektörleri yerleştirirsek, lazerin göndereceği her foton, detektörlerin

yalnızca birinde ya da diğerinde saptanır, hiçbir zaman her ikisinde birden değil); sonuçtaki veriler girişim deseni sergilemez. Yeni detektör kapalı olduğunda -gene, eğer bu karar foton demet bölücüden geçtikten sonra verilmiş olsa bile- fotonlar tam olarak dalga gibi davranır ve her iki yoldan birden gittiklerini gösteren ünlü girişim desenini sergilerler. Sanki fotonlar geçmişteki davranışlarını gelecekte yapılacak olan yeni detektörün açılıp açılmama kararına bağlı olarak ayarlıyorlarmış gibi duruyor; sanki fotonlar sonradan karşılaşacakları deneysel bir durumun uyarısını önceden alıyor ve ona göre davranıyorlar gibi. Sanki tutarlı ve kesin bir geçmiş, yalnızca onun yol açacağı gelecekteki olaylar tamamlandıktan sonra apaçık hale geliyor.

Sizin The Full Monty'yi satma kararınızda da bir benzerlik var. Bay Smithers'la karşılaşmadan önce, resmi satıp satmama konusunda kuşkulu, kararsız, bulanık, karışık bir hem istekli olma hem de olmama durumundaydınız. Ama Bay Smithers'la sanat dünyası hakkında konuşup onun büyük amcanıza duyduğu sevgiyi öğrenmeniz, satma fikrine daha sıcak yaklaşmanızı sağladı. Konuşma, kesin bir karara yol açtı, bu da kararın geçmişinin önceki belirsizlikten sıyrılıp berraklaşmasını sağladı. Geçmişe baktığınızda sanki kararın o zaman verilmiş olduğunu hissedersiniz. Ama eğer Bay Smithers'tan hoşlanmamış olsaydınız, eğer size The Full Monty'mn güvenilir ellerde olacağı duygusunu vermemiş olsaydı, satmama kararı da verebilirdiniz. Bu durumda kolaylıkla geçmişe ait olduğunu söyleyebileceğiniz bir öykü, aslında çok önceden satmama kararı almış olduğunuza dair, resmi satmak ne kadar mantıklı olsa da, içinizde derinlerde bir yerde resmi satmanıza izin vermeyecek kadar güçlü, duygusal bir bağ bulunduğu yolundaki itirafınızı da içerebilirdi. Elbette gerçek geçmiş en ufak bir biçimde değişmemiştir. Ama şimdi farklı yaşananlar, farklı bir geçmiş betimlemenize yol açmaktadır.

Psikolojik alanda geçmişi yeniden yazmak veya yeniden yorumlamak yaygındır; geçmiş öykümüz genellikle şimdiki zamanda yaşadıklarımızca haberdar edilir. Ama fizik alanında -normal olarak nesnel ve kesin olması gerektiğini düşündüğümüz bir alanda- geçmişin geleceğe bağlı olma olasılığı insanın başını döndürür. Bu dönmeyi daha da arttıracak şekilde, Wheeler gecikmiş seçim deneyinin, ışık kaynağının bir laboratuvar lazeri olmayıp uzayın derinliklerindeki güçlü bir kuasar olduğu seçeneğini tartışmaya açıyor. Burada demet bölücü de bir laboratuvar aleti değil, Şekil 7.3'te görüldüğü gibi, kütleçekimi geçen fotonları odaklayıp onları dünyaya

yönlendiren bir mercek gibi davranan, aradaki bir galaksidir. Her ne kadar bu deneyi şimdiye kadar hiç kimse yapmamış olsa da, ilke olarak, eğer kuasardan yeteri kadar (oton gelirse, bu fotonların tıpkı laboratuvar deneyinde olduğu gibi, uzun bir poz süresi sonunda fotoğraf plağında bir girişim deseni yaratmaları gerekir. Ama bu yollardan birinin ya da diğerinin sonuna bir foton sayacı yerleştirebilseydik, fotonların "hangi-yoldan" bilgisini sağlayarak, girişim desenini yok etmesi gerekirdi. Deneyin bu biçiminin çarpıcı yönü, fotonların bizim perspektifimizden milyarlarca yıldır yol alıyor olmalarıdır. Parçacık gibi galaksinin bir yanından ya da öbür yanından dolaşma veya dalga gibi her iki yanından birden dolaşma kararı, detektörün, herhangi birimizin ve hatta Dünya'nın var oluşundan çok çok öncesinden verilmiş gibi görünecektir. Milyarlarca yıl sonra detektör yapılıp fotonların Dünya ya ulaşacağı yollardan birinin üzerine yerleştirilir ve çalışır hale getirilir. Son dönemde yapılan bu çalışmalar bir şekilde fotonların parçacık olarak davranmalarını sağlar. Dünya ya doğru olan uzun yolculuklarında sanki kesinlikle galaksinin bir tarafından ya da öbür tarafından geçiyormuş gibi davranırlar. Ama, eğer birkaç dakika sonra detektörü kapatırsak, fotoğraf plağına daha sonra ulaşan fotonlar girişim deseni sergilemeye başlarlar ki bu da milyarlarca yıl boyunca fotonların, hayaletimsi arkadaşlarının ardından galaksinin öbür yanından dolaştıklarını gösterir.



Şekil 7.3 Uzak bir kuasardan gelen ışık, aradaki bir galaksi tarafından bölünüp odaklanarak, ilke olarak, bir girişim deseni oluşturacaktır. Eğer her fotonun hangi yoldan gittiğinin belirlenmesini sağlayan bir detektör çalıştırılırsa, fotonlar artık girişim deseni oluşturmazlar.

Yirmi birinci yüzyılda detektörü kapatmamızın fotonların milyarlarca yıl önceki hareketleri üzerinde bir etkisi olabilir mi? Elbette hayır. Kuantum mekaniği geçmişin olup bittiğini, tam anlamıyla olup bittiğini inkar etmez. Gerginlik, kuantuma göre geçmiş kavramının klasik anlayışa göre olan geçmiş kavramından farklı olmasından kaynaklanıyor. Klasik yetiştirilme tarzımız belirli bir fotonun şöyle yaptığım veya böyle yaptığını söylememizi ister. Ama kuantum dünyasında, yani bizim dünyamızda bu mantık, fotona çok sınırlayıcı bir gerçeklik atfeder. Daha önce görmüş olduğumuz gibi, kuantum mekaniğinde normal olan, pek çok koldan oluşan, belirsiz, bulanık ve hibrid bir yapısı olan ve ancak uygun bir gözlem yapıldığında daha tanıdık, daha kesin bir berraklığa kavuşan bir gerçekliktir. Milyarlarca yıl önce galaksinin bir yanından ya da öbür yanından veya her ikiy anından birden dolaşma kararını veren foton değildir. Foton, milyarlarca yıldır kuantum normalinde, olasılıkların bir karışımı olarak varlığını sürdürmektedir.

Gözlem işlemi bize pek tanıdık olmayan kuantum gerçekliğini gündelik klasik deneyimlere bağlar. Bugün yaptığımız gözlemler geçmişi yeniden değerlendirirken kuantum geçmişinin bir kolunun belirgin hale gelmesine neden olur. O zaman, bu anlamda her ne kadar geçmişten günümüze kadar olan kuantum evrimi şimdi yaptığımız herhangi bir şeyden etkilenmiyorsa da, anlattığımız geçmiş öyküsü bugün yaptıklarımızın izlerini taşıyabilir. Eğer ışığın ekrana ulaşacağı iki yola foton detektörleri koyarsak, o zaman geçmişe ilişkin öykümüz, fotonun hangi yoldan gittiği tanımlamasını kapsayacaktır; foton detektörlerini koymakla "hangi yoldan" bilgisinin öykümüzün kesin ve temel bir ayrıntısı olmasını garantileriz. Ama eğer foton detektörlerini koymazsak, geçmiş öykümüz zorunlu olarak farklı olacaktır. Foton detektörleri olmaksızın fotonların hangi yoldan geçtiklerine ilişkin herhangi bir şey öğrenemeyiz; foton detektörleri yoksa, hangi-yoldan ayrıntıları da yoktur. Her iki öykü de geçerlidir. Her iki öykü de ilginçtir. Yalnızca farklı durumları tanımlarlar.

Bugün yapılan bir gözlem, bu nedenle, dün, önceki gün veya milyarlarca yıl önce başlayan bir sürecin öyküsünü tamamlamamıza yardım eder.

Bugün yaptığımız bir gözlem, bugün geçmişi anlatırken verebileceğimiz ve vermek zorunda olduğumuz ayrıntıları tanımlar.

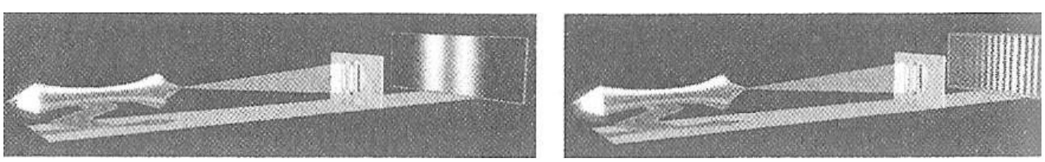
Geçmişi Silmek

Bu deneylerde geçmişin herhangi bir şekilde günümüzde yapılanlar tarafından değiştirilmediğini, bu deneylerin zekice de hazırlanmış olsa hiçbir türünün bu kaypak amacı gerçekleştiremeyeceğini görmek önemlidir. Bu durumda ortaya şöyle bir soru çıkar: Peki, eğer olmuş bir şeyi değiştiremiyorsanız, o zaman yapılabilecek ikinci en iyi şeyi yaparak geçmişin günümüz üzerindeki etkisini silebilir misiniz? Bu fantezi, bir dereceye kadar gerçekleştirilebilir. Bir kaleci yediği kolay bir goldeki hatasını, çok zor bir topu çıkararak telafi edebilir. Elbette böyle bir örnek hiçbir şekilde gizemli değildir. Yalnızca geçmişteki bir olay, gelecekteki bir olayın olmasını kesinlikle engelliyor gibi göründüğü zaman (yenen kolay golün kesinlikle mükemmel bir oyun ortaya konmasını engellemesi gibi), eğer bize sonradan, engellenen olayın aslında gerçekleştiği söylendiyse bir şeylerin ters gittiğini düşünürüz. ilk olarak 1982'de Marlan Scully ve Kai Drühl taralından ortaya atılan kuantum silicisi bunu kuantum mekaniğindeki bir tür tuhaflığın ipucu olarak yorumlamaktadır.

Kuantum silicisi deneyinin en basit versiyonunda, aşağıdaki şekilde değiştirilmiş bir çift yarık düzeneğini kullanılır. Her yarığın önüne bir etiketleme aygıtı konur; bu aygıt, daha sonra incelenecek olan fotonların hangi yarıktan geçmiş olduğunu işaretler. Fotonların nasıl işaretleneceği - yani soldaki yarıktan geçene L, sağdakinden geçene R koymaya eşdeğer işlemin nasıl yapılacağı- sorusu iyi bir soru olmakla birlikte ayrıntıların özel olarak fazlaca bir önemi yoktur. Süreç kabaca fotonların bir yarıktan serbestçe geçmesine izin veren ama spin eksenini belli bir yönde durmaya zorlayan bir aygıta dayanır. Eğer soldaki ve sağdaki yarıkların önünde duran aygıtlar foton spinlerini kendine özgü ama farklı yollarla etkilerlerse, o zaman, yalnızca fotonların çarpma noktalarını göstermekle kalmayan ama aynı zamanda fotonun spin yönünü de kaydeden, daha gelişmiş bir detektör ekranı, belirli bir fotonun detektöre giderken hangi yarıktan geçtiğini de ortaya çıkaracaktır.

Bu etiketlemeli çift-yarık deneyi yapıldığında fotonlar, Şekil 7.4a'da görüldüğü gibi, herhangi bir girişim deseni göstermediler. Açıklamayı şimdiden biliyoruz: Yeni etiketleme aygıtları "hangi-yoldan" bilgisinin elde edilmesini sağlar ve "hangi- yoldan" bilgisi de şu veya bu geçmişi öne çıkarır ve veriler belirli bir fotonun soldaki veya sağdaki yarıktan geçmiş olduğunu gösterir. Soldaki-yarık ve sağdaki-yarık yörüngelerinin birleşimi olmadan girişen olasılık dalgaları olmayacağı için de girişim desenleri üretilmez.

Şimdi, Scully ve Drühl'ün akıllarına gelen soru şuydu: Eğer foton, detektör ekranına çarpmadan hemen önce etiketleme aygıtının koyduğu işaret silinerek fotonun hangi yoldan geçtiğinin belirlenmesi olasılığı ortadan kaldırılırsa ne olur? İlke olarak bile, saptanan fotonun hangi-yoldan geçtiği bilgisini veren bir araç olmadan her iki sınıf geçmiş de işin içine girerek girişim desenlerinin yeniden ortaya çıkmasına neden olur mu? Dikkat ederseniz bu tür bir "geriye alış", kalecinin mutlak golü kurtarmasından çok daha fazla "şok edici" bir kategoriye girer. Etiketleme aygıtları açıkken, fotonun soldaki yarıktan veya sağdaki yarıktan geçerek, uysalca, bir parçacık olarak davrandığını varsayıyoruz. Eğer foton ekrana ulaşmadan hemen önce, bir şekilde, taşımakta olduğu "hangi-yoldan" bilgisini silersek, girişim desenlerinin yeniden oluşmasına izin vermek için çok geç kalınmış gibi görünüyor. Girişim için fotonun dalga gibi davranması gerekir. iki yarıktan birden geçmelidir ki detektöre giderken kendisiyle etkileşebilsin. Ama fotonu başlangıçtaki etiketlememiz onun bir parçacık gibi davranmasını garantiliyor ve ekrana doğru giderken soldaki veya sağdaki yarıktan geçeceği için girişimin oluşmasına izin vermiyor gibi görünüyor.



Şekil 7.4 Kuantum silici deneyinde iki yarığın önüne yerleştirilen aygıtlar her fotonu, sonraki bir incelemede hangi yarıktan geçtiği belli olacak şekilde işaretler, (a)'da böylesi bir "hangi-yoldan" bilgisinin girişim desenini yok ettiğini görüyoruz, (b)'de detektör ekranının hemen önüne fotonlardaki işaretleri silen bir aygıt yerleştirilmiştir. "Hangi-yoldan" bilgisi ortadan kalktığı için, girişim deseni yeniden ortaya çıkar.

Raymond Chiao, Paul Kwiat ve Aephraim Steinberg tarafından yapılan bir deneyde, ekrandan hemen önce yeni bir silici aygıtın kullanıldığı ve şematik olarak Şekil 7.4'te görülen deney düzeneği kullanıldı. Burada da, ayrıntılar önemli olmamakla birlikte, özet olarak, silici, fotonun soldaki veya sağdaki yarıktan geçtiğine bağlı olmaksızın, spininin hep aynı yöne doğru olmasını garantilemeye çalışır. Fotonun spini sonradan incelenerek hangi yarıktan geçtiği bulunamaz, dolayısıyla "hangi-yoldan" işareti silinmiş olur. Şurası önemli ki, bu silinmeden sonra ekranda saptanan fotonlar, girişim deseni oluştururlar. Silici, ekranın hemen önüne yerleştirildiği zaman, fotonların yarıklara yaklaştığında yapılan işaretlemeleri geri alır yani siler. Gecikmiş seçim deneyinde olduğu gibi, ilke olarak böyle bir silme işlemi, engellediği etkiden milyarlarca yıl sonra olabilir, böylece de geçmişi hatta çok eski geçmişi geri alabilir.

Buna nasıl bir anlam verebiliriz? Unutmayın ki veriler, kuantum mekaniğinin kuramsal hesaplarıyla tam olarak uyuşuyor. Yaptıkları kuantum mekaniğine özgü hesaplamalar sonucunda bunun işe yarayacağı konusunda ikna oldukları için Scully ve Drühl bu deneyi önerdiler. işe yaradı da. Bu yüzden, kuantum mekaniğinde her zaman olduğu gibi, bu bilmece kuramın deneyle boy ölçüşmesini sağlamaz. Deneyle desteklenen kuramın bizim sezgisel zaman ve gerçeklik duyularımızla boy ölçüşmesini sağlar. Gerginliği azaltmaya çalışalım: Dikkat ederseniz, herya- rığın önüne bir foton detektörü koymuş olsanız bile, detektörde fotonun soldaki yarıktan mı yoksa sağdaki yarıktan mı geçtiği kesin olarak belirlenir ve böylesi kesin bir bilgiyi silmenin, girişim desenini yeniden oluşturmanın hiçbir yolu yoktur. Ama etiketleme aygıtları farklıdır çünkü yalnızca "hangi-yoldan ” bilgisinin belirlenme olanağını sağlarlar ve olanaklar da silinebilir şeylerdir. Bir etiketleme aygıtı, kabaca konuşursak, geçen bir fotonu o şekilde değiştirir ki, foton hâlâ iki yolda birden hareket eder ama fotonun olasılık dalgasının soldaki kısmı sağdaki kısmına göre daha bulanık olur veya fotonun olasılık dalgasının sağdaki kısmı soldaki kısmına göre daha bulanık olur. Sonra da, normalde her yarıktan çıkması gereken sıralı tepeler ve çukurlar dizisi de Şekil 4.2b de olduğu gibi- bulanıklaşır, sonuçta detektör ekranında girişim deseni oluşmaz. Buradaki önemli kavrayış, hem soldaki hem de sağdaki dalgaların hâlâ var olduğudur. Silici her iki dalgayı da yeniden odakladığı için işe yarar. Bir gözlük gibi bulanıklığı giderir, her iki

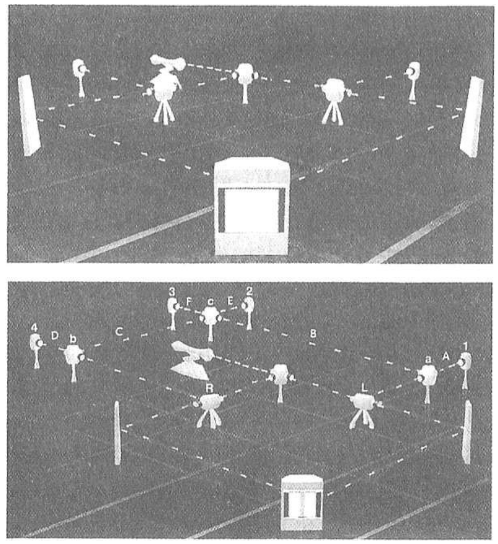
dalgayı da net bir şekilde odaklar ve bunların yeniden birbirleriyle etkileşerek bir girişim deseni oluşturmalarına izin verir. Sanki etiketleme aygıtlarının işlerini yapmasından sonra girişim deseni ortadan kaybolmuş ama sabırla bir şeyin veya birisinin onu geri döndürüp yeniden oluşturmasını bekliyor gibidir.

Bu açıklama, kuantum silicisini daha az gizemli hale getiriyor olabilir ama, sırada alışageldiğimiz uzay ve zaman kavramlarına daha da çok meydan okuyan, kuantum silici deneyinin çarpıcı bir çeşitlemesi daha var.

Geçmişi Biçimlendirmek

Bu deney, yani gecikmiş seçimli kuantum silicisi deneyi de Scully ve Drühl tarafından önerildi. Şekil 7.1 deki demet bölücü aygıtla başlayan bu deney, her bir yola aşağı-değiştirici adı verilen aygıtlar yerleştirilerek değiştirilmiştir. Aşağı-değiştiriciler girdi olarak bir foton alır, çıktı olarak her biri özgün totonun yarı enerjisine sahip olan ("aşağı-değiştirilmiş") iki foton üretirler, iki fotondan biri (ki sinyal totonu olarak adlandırılır) özgün fotonun detektör ekranına doğru izleyeceği yola doğru yönlendirilir. Aşağı-değiştirici tarafından üretilmiş olan diğer foton (ki işsiz foton olarak adlandırılır) ise, Şekil 7.5a'da görüldüğü gibi, bambaşka bir yoldan gönderilir. Deneyin her tekrarlanışında hangi aşağı-değiştiricinin işsiz-foton ortağı çıkardığını gözleyerek sinyal fotonunun ekrana doğru hangi yolu izlediğini belirleyebiliriz. Bir kere daha, sinyal fotonları hakkında hangi-yoldan bilgisinin toplanma yeteneği -herhangi bir sinyal fotonuyla etkileşmediğimiz için bütünüyle dolaylı olsa da- girişim deseninin oluşmasını engelleme etkisine sahiptir.

Şimdi daha tuhaf bölüme geldik. Verilen bir işsiz fotonun hangi aşağı-değiştiriciden çıktığını belirlemeyi olanaksız hale getirecek şekilde deneyi etkilersek ne olur? Yani işsiz fotonlarda somutlaşan hangi-yoldan bilgisini silersek ne olur? Çok şaşırtıcı bir şey olur: Sinyal fotonlarına doğrudan bir şey yapmamış olsak bile, işsiz ortaklarının taşıdığı hangi-yoldan bilgisini silmekle, sinyal fotonlarının yeniden girişim deseni sergilemesini sağlayabiliriz. Gerçekten önemli olduğu için bunun nasıl olduğunu göstereyim.



Şekil 7.5 (a) Aşağı-değiştiricilerle güçlendirilmiş bir demet bölücü deneyi, işsiz fotonlar hangi-yoldan bilgisini verdiği için, bir girişim deseni oluşturmaz, (b) Eğer işsiz fotonlar doğrudan detektörler tarafından belirlenmez ve şekilde gösterilen labirent boyunca gönderilirse işte o zaman verilerden bir girişim deseni çıkarılabilir. Detektör 2 veya 3 ile belirlenen işsiz fotonlar hangi-yoldan bilgisi vermediği için sinyal fotonları bir girişim deseni oluşturur.

Bütün temel fikirleri somutlaştıran Şekil 7.5b’ye bir göz atın. Ama gözünüz korkmasın. Aslında göründüğünden daha basittir ve şimdi üzerinden adım adım gideceğiz. Şekil 7.5b'deki düzenek, Şekil 7.5a'dan, salındıktan sonra işsiz fotonları nasıl saptayacağımız konusunda farklılaşıyor. Şekil 7.5a'da fotonları doğrudan saptamıştık ve dolayısıyla her birinin hangi aşağı- değiştiriciden geldiğini, yani verilen bir sinyal fotonunun hangi yoldan geçtiğini hemen belirleyebilirdik. Yeni deneyde her işsiz (oton bir labirentten geçirilir, bu da bizim böylesi bir saptama yapmamızı olanaksız kılar. Örneğin, bir işsiz fotonun "L" ile işaretlenen aşağı-değiştiriciden salındığını varsayalım. Doğrudan detektöre girmek yerine (Şekil 7.5a daki gibi) bu foton bir demet bölücüye ("a" ile işaretlenmiş) gönderilir ve dolayısıyla, yüzde 50 olasılıkla "A" ile işaretlenmiş yoldan, yüzde 50 olasılıkla "B" ile işaretlenmiş yoldan gider. A yolundan giderse, ("1" ile işaretlenmiş) foton detektörüne girecek ve varışı beklendiği gibi kaydedilecektir. Ama eğer işsiz foton B yolundan giderse, başka etkilere maruz kalacaktır. Başka bir demet bölücüye ("c" ile işaretlenmiş) yönlendirilecek, böylece yüzde 50 olasılıkla E yolundan devam ederek "2" ile işaretlenmiş detektöre gidecek, yüzde 50 olasılıkla F yolundan devam ederek "5" ile işaretlenmiş detektöre gidecektir. Şimdi -

dikkat edin, çünkü bütün bunların yapılmasının bir nedeni var- aynı mantık, "R" ile işaretlenmiş aşağı-değiştiriciden salınan bir işsiz totona uygulandığında, eğer işsiz foton D yolundan giderse "4" ile işaretlenmiş detektör tarafından kaydedileceğini, eğer C yolundan giderse c demet bölücüsünden geçtikten sonra izleyeceği yola bağlı olarak ya detektör 5 tarafından veya detektör 2 tarafından kaydedileceğini söyler.

Acaba olayı neden bu kadar karmaşık hale getirdik? Dikkat ederseniz, eğer bir işsiz foton detektör 1 tarafından saptanırsa, R aşağı-değiştiriciden salman bir işsiz fotonun detektöre ulaşacak bir yolu olmadığı için, bu fotonun eşi olan sinyal fotonunun soldaki yoldan geçtiğini anlarız. Benzer şekilde, bir işsiz foton detektör 4 tarafından saptanırsa, onun eşi olan sinyal fotonunun sağdaki yoldan geçtiğini anlarız. Ama eğer işsiz foton detektör 2 tarafından saptanırsa, onun eşi olan sinyal fotonunun hangi yoldan geçtiği konusunda hiçbir fikrimiz olmaz çünkü bu foton yüzde 50 olasılıkla L aşağı-değiştiricisi tarafından salınmış olup B-E yolunu, yüzde elli olasılıkla da R aşağı- değiştiricisi tarafından salınmış olup C-E yolunu izlemiştir. Benzer biçimde, eğer bir işsiz foton detektör 3 tarafından saptanmışsa, L aşağı-değiştiricisi tarafından salınmış ve B-F yolunu izlemiş veya R aşağı-değiştiricisi tarafından salınmış ve C-F yolunu izlemiş olabilir. Bu nedenle, işsiz fotonları detektörler 1 ve 4 tarafından saptanmış olan sinyal fotonlarının hangi-yoldan bilgisine sahip oluruz ama işsiz fotonları detektörler 2 ve 4 tarafından saptanmış olan sinyal foton l arının hangi yoldan bilgisi silinmiş olur.

Acaba bu bazı hangi-yoldan bilgilerinin silinişi -sinyal fotonlarına doğrudan hiçbir şey yapmamış olsak bile- girişim etkilerinin geri gelişi anlamına mı geliyor? Gerçekten öyle ama yalnızca işsiz eş-fotonları detektör 2 veya detektör 3 tarafından saptanmış olan sinyal fotonları için. Yani sinyal fotonlarının ekrandaki çarpma noktalarının tamamı Şekil 7.5a'daki veriler gibi görünecek, ya bir yoldan ya da diğerinden giden fotonların karakteristiği olduğu üzere, en küçük bir girişim deseni ipucu göstermeyecektir. Ama dikkatimizi bu veri noktalarının bir alt takımına -örneğin işsiz fotonları detektör 2 veya detektör 3 tarafından saptanmış olan sinyal fotonlarına- yoğunlaştırırsak, bunlar bir girişim deseni sergileyecektir. İşsiz fotonları bir nedenden ötürü hangi yoldan bilgisi sağlamayan sinyal fotonları, her iki yoldan birden geçmiş gibi davranırlar. Eğer deney düzeneğini, işsiz fotonu detektör 2 tarafından saptanmış olan

her sinyal fotonunun konumu için kırmızı, diğerlerinin tamamının konumu için yeşil renkli noktalar gösterecek şekilde ayarlamış olsak, ekrana bakan renk körü birisi girişim deseni görmez ama diğer herkes kırmızı noktaların parlak ve karanlık şeritler halinde düzenlenmiş olduğunu -yani girişim deseni sergilediğini- görür. Aynı şey detektör 2 yerine detektör 3 için de doğrudur. Ama işsiz fotonları detektör 1 veya detektör 4 tarafından saptanmış olan sinyal fotonlarını ayırmış olsak, bu fotonlar eşlerinin hangi-yoldan bilgisini verdikleri için böyle bir girişim deseni ortaya çıkmaz.

Deneylerce de doğrulanan bu sonuçlar, göz kamaştırıcıdır: Şekil 7.5adaki gibi, hangi-yoldan bilgisi sağlama potansiyeli olan aşağı-değiştiriciler koyarak girişim desenini yok ederiz. Girişim deseni olmayınca da, doğal olarak her fotonun ya soldaki yoldan ya da sağdaki yoldan geçtiği sonucuna varırız. Ama şimdi, bunun acele varılmış bir sonuç olduğunu görüyoruz. işsiz fotonlardan bazılarının taşıdığı hangi-yoldan bilgisi sağlama potansiyelini dikkatlice yok ederek verileri tekrar girişim deseni gösterecek şekle getirebiliriz ki bu da fotonlardan bazılarının gerçekten her iki yoldan birden geçtiğini gösterir.

Belki de sonuçların en göz kamaştırıcısı olan şunu da gözden kaçırmayın: Fazladan üç demet bölücü ve dört işsiz-foton detektörü laboratuvarın veya evrenin öbür tarafında bulunabilir, çünkü tartışmamızdaki hiçbir şey, bunların işsiz fotonları eş sinyal fotonları ekrana çarpmadan önce veya sonra saptamalarına dayanmıyor. O zaman bu aygıtların birbirinden çok uzakta, örneğin on ışık yılı uzakta olduklarını varsayın ve bunun neye yol açacağını bir düşünün. Şekil 7.5b'deki deneyi bugün yaparsınız, çok büyük sayıda fotonun çarpma noktalarını -birbiri peşi sıra- kaydeder ve girişim deseni sergilemediklerini gözlersiniz. Eğer birisi sizden verileri açıklamanızı isterse, işsiz fotonlar nedeniyle hangi-yoldan bilgisinin elde edildiğini ve bu yüzden her sinyal fotonunun kesinlikle bir yoldan veya diğerinden geçtiğini, bunun da girişim olasılığını ortadan kaldırdığını söylersiniz. Ama yukarıda da değindiğimiz gibi bu, neyin olup bittiği konusunda acele varılmış bir sonuç, geçmişin erken yapılmış bir tanımı olur.

Gördüğünüz gibi, on yıl sonra dört foton detektörü -birbiri peşi sıra- işsiz fotonları alacaktır. Eğer bundan sonra, diyelim detektör 2'de hangi fotonların alındığı konusunda (yani birinci, yedinci, sekizinci, on birinci...

işsiz fotonlar ulaşmış) bilgilendirilirseniz ve sonra da yıllar önce aldığınız verilere dönerek bunlara karşılık gelen toton çarpma noktalarını ekranda parlatırsanız (yani ulaşmış olan birinci, yedinci, sekizinci, on birinci fotonları), parlattığınız veri noktalarının ekranda bir girişim deseni oluşturduğunu, bunun da bu sinyal fotonlarının her iki yoldan birden geçtiğini ortaya çıkardığını bulursunuz. Alternatif olarak sinyal fotonları verilerini toplamanızdan 9 yıl 364 gün sonra şakacının biri a ve b demet bölücülerini çıkararak -ertesi gün işsiz fotonlar ulaştığında hepsinin ya detektör 1 'e veya detektör 4'e gitmelerini garanti ederek, böylece de bütün hangi-yoldan bilgisinin korunmasını sağlayarak- deneye sabotaj yaparsa, o zaman siz bu bilgiyi aldığınızda, her sinyal fotonunun ya sağdaki ya da soldaki yoldan geçtiğini, dolayısıyla sinyal fotonu verilerinden çıkarılacak bir girişim deseni olmayacağı sonucuna varırsınız. Bu yüzden, bu tartışmanın açıkça gösterdiği gibi, sinyal fotonu verilerini açıklamak için anlatacağınız öykü, verilerin toplanmasından on yıl sonraki ölçümlere dayanır.

Gelecekteki ölçümlerin bugün yaptığınız deneyde olup bitenleri herhangi bir şekilde değiştirmeyeceğini; gelecekteki ölçümlerin bugün aldığınız verileri değiştiremeyeceğini bir kere daha vurgulamak isterim. Ama gelecekteki ölçümler, sonradan bugün olup biteni tanımlarken kullanacağınız bazı ayrıntıları etkilerler. işsiz foton ölçümlerinin sonuçlarını almadan önce, verilen bir sinyal fotonunun hangi-yoldan geçmişi konusunda gerçekten hiçbir şey söyleyemezsiniz. Bununla birlikte, sonuçları aldığınızda işsiz eşleri başarılı bir şekilde hangi-yoldan bilgisini araştırmakta kullanılan sinyal fotonlarının -yıllar önce- soldan veya sağdan geçmiş olarak tanımlanabilecekleri sonucuna varırsınız. Vardığınız diğer bir sonuç da, işsiz eşlerinin taşıdığı hangi-yoldan bilgileri silinmiş olan sinyal fotonlarının -yıllar önce- kesinlikle ya bir yoldan ya da diğerinden geçmiş olarak tanımlanamayacakları olur (bu sonucu, yeni elde edilmiş işsiz foton verilerini kullanarak, bu son sınıf sinyal fotonları arasında daha önceden gizli kalmış olan girişim desenini açığa çıkararak, ikna edici bir biçimde kanıtlayabilirsiniz). Bu anlamda geleceğin, anlattığınız geçmişe ait bir öykünün biçimlenmesine yardım ettiğini görürüz.

Bu deneyler bizim sıradan uzay ve zaman kavramlarımıza görkemli bir meydan okumadır. Bir şeyden çok önce ve çok uzakta gerçekleşen başka bir şeyin, bizim o şeyi tamamlamamızda hayati bir önemi vardır. Herhangi bir

klasik -sağduyusal- bakış açısıyla bu olay, deliliktir. Elbette önemli nokta da buradadır: Klasik bakış açısı, kuantum evreninde kullanılamayacak bir bakış açısıdır. Einstein-Podolsky-Rosen tartışmasından kuantum fiziğinin evrende yerel olmadığını öğrendik. Eğer bu dersi tam olarak özümsediyseniz -doğruyu söylemek gerekirse zor bir kavram- uzayla zaman arasında bir tür bağlantıyı kapsayan bu deneyler çok sıra dışı gibi görünmeyebilir. Ama gündelik hayat standartlarıyla son derece olağanüstü oldukları kesindir.

Kuantum Mekaniği ve Yaşananlar

Bu deneyleri öğrendikten sonra birkaç gün için sevinçli olduğumu hatırlıyorum. Kendimi, gerçekliğin gizli yüzüne bir göz atmış gibi hissetmiştim. Gündelik yaşantılar -bu dünyaya ilişkin, sıradan, günlük etkinlikler- birden kuantum dünyamızın gerçek doğasını gizleyen klasik bir bilmecenin parçalan gibi görünmeye başlamışlardı. Her gün yaşadığımız dünya, kuantum gerçekliğinin şaşırtıcı doğruları doğanın el çabukluğu ile gizlenmiş olarak beklerken, dinleyicilerini bildik, her zamanki uzay ve zaman kavramlarına inanmaları için yatıştıran bir sihir gibi görünmeye başlamıştı.

Son yıllarda fizikçiler, doğanın hilelerini açıklamak için -kuantum mekaniği yasalarının, gündelik hayatı son derece başarılı bir şekilde açıklayan klasik yasalarla nasıl bağdaştırılacağını anlamak için- özet olarak, atom ve atom-altı yapıların makroskopik cisimler oluşturmak üzere birleşirken sihirli tuhaflıklarından nasıl sıyrıldıklarını anlamak için çok çaba harcadılar. Araştırmalar sürüyor ama şimdiye kadar çok şey öğrenildi. Şimdi, zamanın okuna ilişkin bazı özel bağlantılara bir göz atalım, ama bu kez kuantum mekaniğinin bakış açısından.

Klasik mekanik 1600'lerin sonuna doğru Newton taralından keşfedilen yasaları temel alır. Elektromanyetizma 1800'lerin sonuna doğru Maxwell'in keşfettiği yasaları temel alır. Özel görelilik Einstein'ın 1905 yılında keşfettiği, genel görelilikse yine onun 1915'te keşfettiği yasaları temel alır. Bu yasaların hepsinde ortak olan ve zaman oku ikileminde (geçen bölümde açıklandığı gibi) temel olan şey, bu yasaların zamanda geçmiş ve geleceği

tamamıyla simetrik bir biçimde ele almalarıdır. Bu yasaların hiçbir yerinde zamanda "ileri" yönünü "geri "yönünden ayıracak herhangi bir şey yoktur. Geçmiş ve gelecek eşit olarak ele alınır.

Kuantum mekaniği Erwin Schrödinger'in 1926 yılında keşfettiği bir yasayı temel alır." Bu yasa hakkında, zamanın bir anında, Şekil 4.5'teki gibi kuantum mekaniğine özgü bir olasılık dalgasının şeklini girdi olarak alıp daha önceki veya sonraki bir anda bu olasılık dalgasının nasıl göründüğünü belirleyebilmemize olanak verdiği gerçeğinin ötesinde bir şey bilmenize gerek yok. Eğer bu olasılık dalgası elektron gibi bir parçacıkla ilişkili ise, bu dalgayı, herhangi belirli bir anda bir deneyle bu elektronun belirli bir yerde bulunma olasılığını hesaplamak için kullanabilirsiniz. Newton, Maxwell ve Einstein'ın klasik yasaları gibi Schrödinger'in kuantum yasası da geçmiş-zamanla gelecek- zamanı eşit bir şekilde ele alır. Böyle başlayıp şöyle biten bir olasılık dalgasını gösteren bir "film", ters yönde oynatılabilir -yani olasılık dalgası şöyle başlayıp böyle bitebilir- ve bu filmlerden hangisinin doğru hangisinin yanlış olduğunu söylemenin hiçbir yolu yoktur. Her ikisi de Schrödinger denkleminin aynı derecede geçerli çözümleridir. Her ikisi de olayların gelişebileceği anlamlı yolları temsil ederler.

Elbette burada sözü edilen "film", geçen bölümde bir tenis topunun veya kırılan bir yumurtanın hareketlerinin çözümlendiği filmlerden çok farklıdır. Olasılık dalgaları doğrudan görebileceğimiz şeyler değildir; bir olasılık dalgasını filme alacak bir kamera yoktur. Olasılık dalgalarını matematiksel denklemler kullanarak tanımlayabilir ve bunların en basitlerini zihnimizde Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'daki gibi canlandırabiliriz. Ama olasılık dalgalarına ancak dolaylı olarak bir ölçüm süreciyle ulaşabiliriz.

Yani Bölüm 4'te özetlendiği ve yukarıdaki deneylerde tekrar tekrar görüldüğü gibi, kuantum mekaniğinin standart formüle edilişi olayların gelişimini iki farklı aşamada tanımlar. Birinci aşamada elektron gibi bir parçacığın olasılık dalgası -ya da alanın daha matematiksel diliyle dalga fonksiyonu- Schrödinger tarafından keşfedilen denkleme uygun olarak evrilir. Bu denklem dalga fonksiyonunun şeklinin, tıpkı bir su dalgasının gölün bir yanından diğerine yayılırken olduğu gibi yavaş ve düzgün bir biçimde değişmesini garantiler. ikinci aşamanın standart tanımında elektronun konumunu ölçerek gözlenebilir gerçeklikle temas kurarız ve bunu yaptığımızda elektronun dalga fonksiyonu aniden ve keskin bir

biçimde değişir. Elektronun dalga fonksiyonu çok daha iyi bildiğimiz su dalgaları ya da ses dalgaları gibi değildir: Elektronun konumunu ölçtüğümüzde, dalga fonksiyonu sivrilir veya Şekil 4.7'de görüldüğü gibi çöker ve parçacığın olmadığı yerlerde 0 değeri alırken parçacığın deney sonucunda bulunduğu yerde yüzde 100 olasılığa fırlar.

Birinci aşama -dalga fonksiyonlarının Schrödinger denklemine göre evrilmesi matematiksel olarak kesin ve tamamıyla kuşkusuz olup fizik camiasınca tam olarak kabul edilmiştir. İkinci aşama -dalga fonksiyonunun ölçüm sonucunda çökmesi- ise, aksine son seksen yıldır, iyi taraftan bakıldığında fizikçilerin zihnini hafifçe karıştırmış, kötü taraftan bakıldığında ise meslek yaşamlarını mahveden sorunlar, bilmeceler ve potansiyel çelişkiler ortaya koymuştur. Bölüm 4 ün sonunda söz edildiği gibi güçlük, Schrödinger denklemine göre dalga fonksiyonlarının çökmüyor olmasıdır. Dalga fonksiyonlarının çökmesi eklentidir. Deneycilerin gerçekte gördüklerini açıklamak amacıyla Schrödinger, denklemini bulduktan sonra eklenmiştir. Ham, çökmemiş bir dalga fonksiyonu parçacığın orada ve burada olduğu gibi acayip bir fikri temsil ediyorsa da, deneyciler bunu hiçbir zaman görmezler. Onlar parçacığı kısmen orada, kısmen burada değil, her zaman belirli bir konumda veya diğerinde bulurlar; ölçüm aygıtlarının göstergeleri hiçbir zaman hem şu değeri hem de bu değeri göstermek gibi hayaletimsi bir karışım sergilemez.

Aynı şey, elbette, çevremizdeki dünyada yaptığımız rastgele gözlemlerde de geçerlidir. Hiçbir zaman bir sandalyenin hem orada hem de burada olduğunu gözlemeyiz; Ay'ın geceleyin gökyüzünün hem bir yanında hem de diğer yanında olduğunu gözlemeyiz; bir kedinin hem ölü hem de canlı olduğunu hiçbir zaman görmeyiz. Dalga fonksiyonunun çökmesi kavramı, ölçüm işleminin dalga fonksiyonunun kuantum belirsizliğini terk ederek pek çok olasılıktan birini seçmesine neden olduğunu ön koşul olarak kabul ettiğimizde yaşadıklarımızla örtüşür.

Kuantum Ölçümü Bilmecesi

Ama bir deneycinin ölçüm yapması bir dalga fonksiyonunun çökmesine nasıl neden olur? Aslında çökme gerçekten olur mu, eğer olursa

mikroskobik düzeyde ne olup biter? Herhangi bir ölçüm veya bütün ölçümler çökmeye neden olur mu? Çökme ne zaman olur ve ne kadar sürer? Schrödinger denklemine göre dalga fonksiyonları çökmediğine göre, kuantum evriminin ikinci aşamasında hangi denklem devreye girer ve bu yeni denklem nasıl Schrödinger denkleminin kuantum süreçleri üzerindeki gücünü zorla alarak onu tahtından indirebilir? Ve zamanın okuna ilişkin ilgimiz açısından önemli olarak, ilk aşamayı yönelen denklem olan Schrödinger denklemi, zamanın ileri ve geri yönleri arasında bir ayrım yapmazken, ikinci aşamanın denklemi ölçümün yapılmasından önceki ve sonraki zamanlar arasında temel bir asimetri yaratıyor olabilir mi? Yani, kuantum mekaniği gündelik dünya ile olan arayüzünü ölçümler ve gözlemlerle işin içine katarak fiziğin temel yasalarının içine bir zaman oku yerleştiriyor olabilir mi? Ne de olsa kuantumun geçmişi ele alışının klasik fizikten nasıl farklı olduğunu ve geçmiş sözcüğüyle belirli bir gözlemin veya ölçümün öncesini kastettiğimizi daha önce tartışmıştık. O zaman, ikinci-aşama dalga fonksiyonunun çöküşüyle somutlaşan ölçümler geçmiş ve gelecek arasında, ölçümün öncesi ve sonrası arasına bir asimetri yerleştiriyor olabilir mi?

Bu sorular tam çözüme inatçı bir şekilde direnç gösterdiler ve hep tartışmalı kaldılar. Ama on yıllar boyunca, kuantum kuramı tahmin gücünden hiç ödün vermedi. İkinci aşama açıklanması zor bir şekilde kalmış olsa da, kuantum kuramının birinci aşama/ ikinci aşama formülü belirli bir sonucu veya diğerini ölçme olasılığını tahmin eder. Bu tahminler belirli bir deneyi tekrar tekrar yaparak ve bir sonucun ya da diğerinin bulunmasının frekansını inceleyerek doğrulanmıştır. Bu yaklaşımın olağanüstü deneysel başarısı, ikinci aşamada gerçekten ne olduğunun açık bir biçimde telaffuz edilememesinden kaynaklanan rahatsızlığın çok önüne geçmiştir.

Ama rahatsızlık hep vardı ve oradaydı. Bu, dalga fonksiyonunun çökmesinin bazı ayrıntılarının tam olarak bilinmemesi- nin ötesindeydi. Kuantum 'ölçüm problemi adı verilen problem kuantum mekaniğinin sınırlarını ve evrenselliğini ifade eden bir konudur. Bunu görmek kolaydır. Birinci aşama/ikinci aşama yaklaşımı gözlenenle (örneğin bir elektron, proton ya da atom) gözlem işlemini yapan deneyci arasında bir ayrımı ortaya koyar. Deneyci olaya girmeden önce dalga fonksiyonları Schrödinger denklemine göre, son derece mutlu bir şekilde ve düzgünce evri-lirler. Ama

deneyci ölçüm yapmak üzere olaya burnunu sokunca oyunun kuralları birdenbire değişir. Schrödinger denklemi bir yana bırakılır ve ikinci-aşama çökmesi olayı devralır. Ama bir deneyciyi oluşturan atomlar, elektronlar ve protonlarla kullandığı aygıtların atomları, elektron ve protonları ile incelediği atomlar, elektron ve protonlar arasında bir fark olmadığına göre neden kuantum mekaniğinin bunları ele alış biçimleri arasında bir fark olsun? Eğer kuantum mekaniği sınır olmaksızın her şeye uygulanan, evrensel bir kuram ise, gözlenen ve gözleyen tam olarak aynı şekilde ele alınmalıdır.

Niels Bohr aynı fikirde değildi. Deneycilerin ve onların kullandıkları aygıtların temel parçacıklardan farklı olduklarını iddia ediyordu. Aynı parçacıklardan oluşmuş olsalar bile, onlar temel parçacıkların "büyük ' topluluklarıydılar ve bu yüzden klasik fizik yasaları tarafından yönetiliyorlardı. Atomların ve atom altı parçacıkların minik dünyası ile bildiğimiz insanlar ve onların kullandıkları araçlar dünyasının arasında bir yerde, boyutlar değiştiği için kurallar da değişiyordu. Bu değişimi ileri sürmenin nedeni açıktı: Kuantum mekaniğine göre minik bir parçacık, orada ve burada bulunmanın bulanık bir karışımında konumlandırılabilir ama gündelik, büyük dünyada böyle bir davranış görmüyoruz. Peki, sınır tam olarak nerededir? Ve hayati öneme sahip olan konulardan biri de, ölçüm gibi bir durumda gündelik, büyük dünya ile atomların minik dünyası bir araya geldiği zaman bu iki kurallar bütününün birbirleri ile nasıl bağdaşacağıdır. Bohr ikna edici bir şekilde bu soruların sınırların ötesinde olduğunu söylerken, gerçeği söylemek gerekirse, bunların herhangi birinin cevaplayabileceği soruların sınırlarının ötesinde olduğunu öne sürüyordu. Kuram bunları göz önüne bile almadan olağanüstü kesinlikte tahminler yapabildiği için, böyle konular uzun bir zaman süresince fizikçilerin cevaplaması gereken kritik sorular listesinin çok alt sıralarında yer aldı.

Yine de kuantum mekaniğini tam olarak anlamak, gerçeklik hakkında ne söylediğini belirlemek ve zamanın okuna bir- yön vermede oynayabileceği rolü saptamak için kuantum ölçüm problemi ile boğuşmak zorundayız.

Önümüzdeki iki alt bölümde bu amaçla yapılmış en önemli ve Umut verici girişimlerden bazılarından söz edeceğiz. Eğer herhangi bir noktada kuantum mekaniği ve zamanın oku konusuna odaklanan son alt bölüme doğrudan atlamak isterseniz, sonuç şu ki, kuantum ölçüm problemi üzerinde

harcanan zekice çabaların çoğu önemli gelişmeler sağlamış olmakla birlikte, geniş kabul gören bir çözüm hâlâ ulaşımımızın ötesinde gibi duruyor. Birçokları buna kuantum yasasının formüle edilişindeki tek ve en önemli eksik gözüyle bakıyorlar.

Gerçeklik ve Kuantum Ölçüm Problemi

Yıllar boyunca kuantum ölçüm probleminin çözümü için pek çok öneri ortaya atıldı. Gariptir, bunlar farklı gerçeklik kavramlarına yol açmalarına rağmen -bazıları kökten farklı- konu deney sonucunda araştırmacının ne ölçeceğini tahmin etmeye gelince hepsi fikir birliği içindedir ve her biri bir büyü gibi çalışır. Her öneri aynı gösteriyi sunar ama sahne gerisine bir göz attığınızda her birinde çalışma tarzının önemli biçimde farklı olduğunu görürsünüz.

Sahnelenen oyuna gelince, kıyıda köşede ne olduğuyla pek ilgilenmezsiniz, yalnızca ürüne odaklanmayı yeterli bulursunuz. Ama iş evreni anlamaya gelince, bütün perdeleri çekip, kapıları açıp gerçekliğin en derin işleyişini ortaya koyma yönünde doymak bilmez bir acelecilik vardır. Bohr bu aceleciliği temelsiz ve yanlış yönlendirilmiş buluyordu. Ona göre gerçeklik oyunun kendisiydi. Bir Spalding Gray monologu gibi, bütün gösteri bir deneycinin çıplak ölçümleridir. Başka bir şey yoktur. Bohr'a göre sahne gerisi yoktur. Bir dalga fonksiyonunun olasılıkların biri dışındakilerden nasıl, ne zaman ve neden vazgeçip ölçüm aygıtında tek bir belirli rakamı ürettiğini çözümlemeye çalışmak, asıl noktayı gözden kaçırmaktır. Dikkate değer tek şey, ölçülen rakamın kendisidir. On yıllar boyunca bu perspektif hüküm sürdü. Bununla birlikte, bu perspektifin aklın kuantum kuramıyla uğraşması üzerindeki sakinleştirici etkisine rağmen, insan kendini, kuantum mekaniğinin olağanüstü tahmin gücünün, evrenin işleyişinin altında yatan gizli gerçekliği ortaya çıkardığını düşünmekten alıkoyamıyor. İnsan, daha ileri gidip, kuantum mekaniğinin insanların yaşadıklarıyla nasıl bağdaştığını, dalga fonksiyonu ile gözlem arasındaki boşluğu nasıl doldurduğunu ve gözlemlerin altında hangi gizli gerçekliğin yattığını anlamak istiyor. Yıllar boyunca birkaç araştırmacı bu işe girişti; şimdi onların geliştirdiği bazı önerileri görelim.

Kökleri Heisenberg'e kadar giden bir yaklaşım, dalga fonksiyonlarının kuantum gerçekliğinin nesnel öğeleri olduğu perspektifini terk ederek bunları yalnızca gerçeklik konusunda bildiklerimizin somutlaşması olarak ele almaktır. Bir ölçüm yapmadan önce, elektronun nerede olduğunu bilmeyiz, bu bakış açısına göre elektronun konumu konusundaki bilgisizliğimiz, elektronun dalga fonksiyonunun onu, olasılıkla çeşitli yerlerde bulunuyor olarak tanımlamasıyla yansıtılır. Konumunu ölçtüğümüz anda ise elektronun yeri konusundaki bilgilerimiz aniden değişir: Artık elektronun konumunu ilke olarak tam bir kesinlikle biliyoruzdur. (Belirsizlik ilkesi gereğince eğer konumunu tam olarak biliyorsak, hızı hakkında hiçbir şey bilmiyoruzdur ama bunun şu andaki tartışmamızla bir ilgisi yok.) Bu perspektife göre, bilgilerimizdeki bu ani değişiklik, elektronun dalga fonksiyonunda ani bir değişiklik olarak yansır: Aniden çökerek Şekil 4.7'deki sivrilmiş şeklini alır ki bu da elektronun konumunu kesin bir şekilde bildiğimizi gösterir. O zaman, bu yaklaşımda dalga fonksiyonunun ani çöküşü şaşırtıcı değildir: Hepimizin yeni bir şey öğrendiğimizde bilgimizde ortaya çıkan ani değişiklikten başka bir şey değildir.

1957'de Wheeler'in öğrencisi olan Hugh Everett tarafından ortaya konulan ikinci yaklaşım, dalga fonksiyonlarının çöktüğünü reddeder. Dalga fonksiyonunun somutlaştırdığı her potansiyel sonuç gün ışığını görür ama her birinin gördüğü gün ışığı kendi ayrı evrenine akar. Birçok Dünya yorumu adı verilen bu yaklaşımda "evren" kavramı sayısız "paralel evrenleri" -evrenimizin sayısız değişik biçimi- kapsayacak şekilde genişletilmiştir öyle ki, kuantum mekaniğinin olabileceğini tahmin ettiği herhangi bir şey, çok küçük bir olasılıkla da olsa, bu kopya evrenlerin en azından birinde gerçekleşir. Eğer bir dalga fonksiyonu bir elektronun burada, orada veya çok uzakta olabileceğini söylüyorsa, o zaman, bu evrenlerin birinde sizin değişik bir biçiminiz elektronu burada; evrenin bir başka kopyasında başka bir siz elektronu orada; ve üçüncü bir evrende bir başka siz elektronu çok uzakta bulacaksınız. Bu yüzden, her birimizin bir andan diğerine yaptığımız gözlemler dizisi, her birinde sizin, benim ve belirli gözlemlerin belirli sonuçlara yol açtığı bir evrende yaşayan herkesin kopyalarının bulunduğu bu devasa, sayısız evrenler ağının bir bölümünde ortaya çıkan gerçekliği yansıtır. Böyle evrenlerin birinde siz şu anda bu kelimeleri okuyorsunuz, bir diğerinde internette dolaşmak için okumanıza

ara veriyorsunuz, başka bir evrendeyse küçük bir rolünüzün olduğu bir Broadway gösterisinde endişe içinde perdenin açılmasını bekliyorsunuz. Sanki Şekil 5.1 deki gibi tek bir uzay-zaman bloğu yokmuş da, her birinde olası olayların gerçekleştiği sonsuz sayıda uzay- zaman bloğu varmış gibi görünüyor. Bu durumda, birçok dünya yaklaşımında hiçbir potansiyel sonuç yalnızca potansiyel olarak kalmaz. Dalga fonksiyonları çökmezler. Her potansiyel sonuç paralel evrenlerin birinde ortaya çıkar.

1950'lerde David Bohm'un -Bölüm 4'te Einstein-Podolsky- Rosen paradoksunu incelerken söz ettiğimiz fizikçi- geliştirdiği üçüncü öneri tümüyle farklı bir yaklaşımı benimser. Böhm, elektron gibi parçacıkların, klasik fizikte olduğu gibi ve tam da Einstein'ın umduğu gibi, kesin konumlara ve kesin hızlara sahip olduklarını öne sürmektedir. Ama belirsizlik ilkesiyle uyum sağlamak için bu özellikler ortalıkta gözükmezler; bunlar Bölüm 4'te sözü edilen gizli değişkenlerin örnekleridir, ikisini bir den aynı anda belirleyemezsiniz. Bohm için böyle bir belirsizlik, bilebildiklerimizin sınırını gösterirdi, parçacıkların kendilerinin gerçek nitelikleri hakkında hiçbir şey ima etmezdi. Onun yaklaşımı Bell in sonuçlarıyla ters düşmezdi, çünkü Bölüm 4'tin sonlarına doğru incelediğimiz gibi, kuantum belirsizliğince yasaklanan belirli özellikler dışlanmıyordu, yalnızca yerellik dışlanıyordu ve Bohm'un yaklaşımı yerel değildi." Bunun yerine Bohm, bir parçacığın dalga fonksiyonunun, gerçekliğin bir diğer, başka öğesi, parçacığın kendisine ek olarak var olan bir öğesi olduğunu düşünüyordu. Bohm'a göre parçacıklar veya dalgalar değil, Bohr'un tamamlayıcılık felsefesindeki gibi parçacıklar ve dalgalar vardı. Üstelik Bohm, parçacığın dalga fonksiyonunun parçacığın kendisiyle etkileştiğini -parçacığı "yönlendirdiğini" veya "itelediğini"- bir anlamda sonraki hareketini belirlediğini öne sürüyordu. Bu yaklaşım standart kuantum mekaniğinin başarılı tahminleriyle tam olarak uyum içinde olsa da Bohm, bir konumdaki dalga fonksiyonundaki değişikliklerin parçacığı ani bir biçimde uzak bir konuma iteleyeceğini buldu; bu da onun yaklaşımının yerel olmayışını açıkça gösteriyordu. Örneğin çift yarık deneyinde her parçacık ya bir yarıktan ya da diğerinden geçerken onun dalga fonksiyonları her iki yarıktan birden geçerek girişim sergiler. Dalga fonksiyonu parçacığın hareketini yönlendirdiği için, denklemlerin, parçacığın Şekil 4.4'teki verileri açıklayacak biçimde, ekrana çarpma olasılığının dalga fonksiyonu değerinin büyük olduğu yerde büyük, küçük olduğu yerdeyse

küçük olduğunu göstermesinin büyük bir sürpriz olmaması gerekir. Bohm'un yaklaşımında dalga fonksiyonunun ayrı bir çökme aşaması yoktur, çünkü eğer parçacığın konumunu ölçmüş ve burada bulmuşsanız, burası ölçümün yapılmasından bir an önce parçacığın gerçekten bulunduğu yerdir.

Giancarlo Ghirardi, Alberto Rimini ve Tulio Weber adlı İtalyan fizikçiler tarafından sergilenen dördüncü bir yaklaşımda, Schrödinger denklemini tek tek parçacıkların dalga fonksiyonları üzerinde hemen hemen hiç etkisi olmayacak ama gündelik, "büyük" cisimlere uygulandığında önemli etkileri olacak şekilde zekice değiştirmek üzere cesur bir atılım yapılmaktadır. Önerilen değişiklik dalga fonksiyonlarının doğal olarak kararsız olduğunu, herhangi bir girişim olmasa da her dalga fonksiyonunun er geç çökerek sivri bir şekil alacağını varsayar. Ghiardi, Rimini ve Weber, tek bir parçacığın dalga fonksiyonunun ortalama olarak her bir milyar yılda bir kendiliğinden, rasgele bir biçimde çökeceğini öne sürdüler. Bu olay o kadar az görülür ki parçacıkların her zamanki kuantum mekaniğine özgü tanımlarında hemen hemen hiç değişikliğe neden olmaz ve kuantum mekaniği mikro dünyayı daha önce elde edilememiş bir doğrulukla betimlediği için bu iyi bir şeydir. Ama milyarlarca ve milyarlarca parçacıktan oluşan deneyciler ve onların araçları gibi büyük cisimlerde, verilen bir saniyenin küçük bir bölümünde kendiliğinden bir çökmenin en azından bir bileşen parçacığı yok etine, onun dalga fonksiyonunu çöktürme olasılığı yüksektir. Ghirardi, Rimini, Weber ve diğerleri tarafından öne sürüldüğü gibi, büyük bir cisimdeki bütün dalga fonksiyonlarının dolanık yapısı, bu çökmenin bir tür kuantum domino etkisi yaratarak cismi oluşturan bütün parçacıkların dalga fonksiyonlarını çöktürmesini garantiler. Bu, saniyenin küçük bir kesrinde olup biterken, önerilen değişimse büyük cisimlerin temel olarak her zaman belirli bir konumda kalmalarını garanti altına alır. Ölçüm aletlerindeki ibreler her zaman belirli bir değeri gösterirler; Ay gökyüzünde her zaman belirli bir konumdadır; deneycilerin beyinleri daima belirli bir şey yaşar; kediler her zaman ya canlı ya da ölüdürler.

Bu yaklaşımların her birini ve burada söz etmeyeceğim diğerlerini destekleyenler ve eleştirenler vardır. "Bilgi olarak dalga fonksiyonu" yaklaşımı dalga fonksiyonu çökmesi konusunda bir tür kurnazlığa başvurarak dalga fonksiyonlarının gerçekliğini reddeder ve onları yalnızca bildiklerimizin tarifine dönüştürür. Ama eleştirenlerden biri şunu sorar: Neden temel fiziğin insan farkındalığı ile bu kadar yakın ilişkili olması

gereksin? Eğer biz dünyayı gözlemek üzere burada olmasaydık dalga fonksiyonları hiçbir zaman çökmez miydi ya da dalga fonksiyonu kavramı var olmaz mıydı? Yeryüzü gezegeninde insan bilinci evrilmeden önce evren çok farklı bir yer miydi? insan deneycilerin yerine gözlemci olarak yalnızca karıncalar, fareler, amipler veya bilgisayarlar bulunsaydı ne olurdu? Onların "bilgilerindeki" değişim dalga fonksiyonlarının çökmesiyle bağlantılı olmak için yeterli olur muydu?"

Tersine, birçok dünya yorumu, bu yaklaşımda dalga fonksiyonları çökmediği için, dalga fonksiyonunun çökmesi olayından tümüyle kaçınır. Ama ödenecek bedel evrenlerin aşırı çoğalmasıdır ki, eleştirenlerin çoğu bunu fazla abartılı bulmuştur. Bohm'un yaklaşımı da dalga fonksiyonu çökmesinden kaçınır; ama bu yaklaşımda hem parçacıklara hem de dalgalara bağımsız gerçeklik atfedildiği için eleştirenler bu kuramın ekonomik olmadığını öne sürmüşlerdir. Üstelik, eleştirenler doğru bir biçimde Bohm'un formülleştirmesinde dalga fonksiyonunun ittiği parçacıklarla ışıktan-hızlı bir şekilde etkileşebildiklerini iddia etmektedirler. Destekleyenlerse ilk şikâyetin en iyi olasılıkla nesnel olmadığını, ikincisininse Bell'in kaçınılmasının mümkün olmadığını kanıtladığı yerel olmayışa uyduğundan her iki eleştirinin de ikna edici olmadığına dikkat çekiyorlar. Bununla birlikte, belki de mazur görülemez bir şekilde, Bohm'un yaklaşımı hiçbir zaman rağbet görmedi. Ghirardi-Rimini-Weber yaklaşımı dalga fonksiyonunun çökmesiyle doğrudan ilgilenir ve bunun için denklemleri yeni bir kendiliğinden çökme mekanizmasını içerecek şekilde değiştirir. Ama eleştirenler henüz Schrödinger denklemine önerilen değişikliği destekleyen en küçük bir deneysel kanıt bulunmadığına dikkat çekiyorlar.

Kuantum mekaniği formülleri ile gerçek hayatta yaşananlar arasında sağlam ve tümüyle saydam bir ilişki bulmak isteyen araştırmacılar, hiç kuşkusuz bu çabalarını gelecekte de bir süre daha sürdüreceklerdir ama bilinen yaklaşımlardan hangisinin sonunda genel kabul göreceğini söylemek zordur. Eğer şimdi fizikçiler arasında bir anket yapılsa, çok oy alan bir favorinin olacağını sanmıyorum. Ne yazık ki bu konuda deneysel girdilerin de yardımı sınırlı. Ghirardi-Rimini-Weber önerisi bazı durumlarda standart aşama bir/aşama iki kuantum mekaniğinden farklı olabilen tahminlerde bulunur; sapmalar günümüzün teknolojisiyle ölçülemeyecek kadar küçüktür. Diğer üç önerinin durumu daha da kötüdür çünkü deneysel

hükümler karşısında daha kesin bir biçimde hareketsiz kalmışlardır. Standart yaklaşımla tam bir uyum içinde olduklarından, her biri gözlenebilecek veya ölçülebilecek şeyler konusunda aynı tahminlerde bulunurlar. Yalnızca sahne gerisinde olup bitenler konusunda farklılaşırlar. Yani kuantum mekaniğinin, gerçekliğin doğasının altında neyin yattığını ima ettiği konusunda farklılıklar sergilerler.

Kuantum mekaniği ölçüm problemi çözülmemiş olarak kalmış olsa da, son yirmi-otuz yıldır, henüz tamamlanmış olmasa bile, uygulanabilir herhangi bir çözümün parçası olabileceği yaygın olarak destek gören bir yapı gelişme aşamasındadır. Bu yapının adı dağınımdır (durgun dalga yapısının çevre ile etkileşmeler yüzünden bozulması yani 'decoherence').

Dağınım ve Kuantum Gerçekliği

Kuantum mekaniğinin olasılıkçı yanıyla ilk defa karşılaştığınızda ilk doğal tepki, yazı-tura atarken veya rulet çevirirken ortaya çıkan olasılıklardan daha yabancıl (egzotik) olmadığını düşünmektir. Ama kuantum girişimini öğrendiğiniz zaman, olasılığın kuantum mekaniğine çok daha temel bir şekilde girdiğini kavrarsınız. Gündelik örneklerdeki çeşitli sonuçlar -yazı mı tura mı, kırmızı mı siyah mı, bir piyango numarası mı diğeri mi- bir sonucun veya diğerinin mutlaka ortaya çıkacağı ve her sonucun bağımsız, farklı bir geçmişin ürünü olduğu kavrayışıyla ayrılmış sonuçlardır. Y azı-tura atıldığında p aranın havada dönmesi bazen yazı gelmesine bazen de tura gelmesine yeterli olacak miktarlarda olur. Her sonuca atfettiğimiz 50-50 olasılık yalnızca ortaya çıkan sonuca -yazı mı, tura mı- değil, her sonuca yol açan geçmişlere de ilişkindir. Yazı-tura atışlarının olası sonuçlarının yarısı yazı, yarısı tura olur. Geçmişlerin kendileri ise tümden ayrı, yalıtılmış seçeneklerdir. Paranın farklı hareketlerinin birbirlerinin desteklemeleri veya yok etmelerinin bir anlamı yoktur. Tümüyle bağımsızdırlar.

Ama kuantum mekaniğinde işler farklıdır. Bir elektronun çift yarıktan detektöre kadar izleyebileceği seçenek yollar ayrı, yalıtılmış geçmişler değildir. Olası geçmişler etkileşerek gözlenen sonucu üretirler. Bazı yollar diğerini destekler, bazı yollar diğerleri tarafından yok edilir. Çeşitli olası

geçmişler arasındaki böyle kuantum girişimi detektör ekranındaki karanlık ve aydınlık şeritlerden oluşan desenin nedenidir. Bu yüzden, kuantum ve klasik olasılık kavramları arasındaki lark, birincinin girişim sergilemesi, İkincinin ise sergilememesidir.

Dağınım küçük şeylerin kuantum fiziğiyle o kadar da küçük olmayan şeylerin klasik fiziği arasında kuantum girişimini bastırarak -yani klasik ve kuantum olasılıkları arasındaki temel farkı ani bir biçimde yok ederek- bir köprü oluşturan, yaygın bir kavramdır. Dağınımın önemi kuantum kuramının ilk zamanlarında anlaşılmış ama ortaya yeniden çıkışı 1970'te Alman fizikçi Dieter Zeh'in özgün makalesiyle'" olmuş ve o zamandan beri aralarında gene Alman olan Erich Joos ve New Mexico'daki Los Alamos Ulusal Laboratuvarı'ndan Wojciech Zurek'in de bulunduğu pek çok araştırmacı tarafından geliştirilmektedir.

Fikir şudur: Schrödinger denklemi iki yarıklı bir perdeden geçen tek tek ve yalıtılmış fotonlar gibi basit bir duruma uygulandığı zaman, ünlü girişim desenine yol açar. Ama bu laboratuvar örneğinin gerçek dünyada olup bitenlerin karakteristiği olmayan iki çok özel niteliği vardır. Birincisi, gündelik hayatta karşılaştığımız şeyler daha büyük ve tek bir fotondan daha karmaşıktır. İkincisi, gündelik hayatta karşılaştığımız şeyler yalıtılmış değildir: Bizimle ve çevreyle etkileşirler. Şu anda elinizdeki kitaba bir insan dokunmakta ve çok daha genel olarak kitaba sürekli olarak fotonlar ve hava molekülleri çarpmaktadır.

Üstelik kitabın kendisi de birçok molekül ve atomdan yapıldığı için, sürekli hareket halinde olan bu bileşenler birbirleri ile de etkileşmektedirler. Aynı şeyler ölçü aletlerinin göstergeleri, kediler, insan beyinleri ve gündelik hayatta karşılaştığınız her şey için de doğrudur. Astrofiziksel ölçeklerde Dünya, Ay, asteroidler ve diğer gezegenler, Güneş'ten gelen fotonlarla bombardıman ediliyor. Uzayın karanlık derinliklerindeki bir toz parçacığına bile, Büyük Patlama'nın hemen ertesinde akmaya başlayan düşük-enerjili mikrodalga fotonları sürekli olarak çarpıyor. Bu nedenle, kuantum mekaniğinin ilk laboratuvar deneylerinin tersine, gerçek dünyada olup bitenler konusunda ne söylediğini anlamak için, Schrödinger denklemini böyle daha karmaşık durumlara uygulamamız gerekir.

Özet olarak, Zeh'in vurguladığı buydu ve onun çalışması, ardından gelen diğerlerinin çalışmaları ile birlikte, harikulade bir şeyi ortaya çıkardı. Her ne kadar fotonlar ve hava molekülleri kitap veya kedi gibi büyük cisimler üzerinde önemli bir etkiye sahip olamayacak kadar küçük olsalar da başka bir şey yapabilirler. Büyük cismin dalga fonksiyonunu "dürterler" veya fizik dilinde onun durağanlığını bozup dağınımına yol açarlar: Birbirini izleyen tepe, çukur, tepe dizisinin sırasını bulanıklaştırırlar. Bu kritiktir, çünkü bir dalga fonksiyonunun düzenliliği, girişim etkileri üretmesi açısından çok önemlidir (Şekil 4.2'ye bakınız). Bu yüzden tıpkı çift yarık deneyinde etiketleme aygıtlarının eklenmesinin sonuçtaki dalga fonksiyonunu bulanıklaştırarak girişim etkilerini yok etmesi gibi, cisimlerin de çevrelerini oluşturan bileşenler tarafından sürekli olarak bombardıman edilmesi, girişim olayı gözlenmesi olasılığını yok eder. Kuantum girişimi olasılığı bir kere ortadan kalktığında, kuantum mekaniğinde yapısal olarak var olan olasılıklar, bütün pratik amaçlar için, yazı- tura atışlarında veya rulette yapısal olarak var olan olasılıklar gibidir. Bir kere çevresel dağılma dalga fonksiyonunu bulanıklaştırdığında kuantum olasılıklarının egzotik doğası, gündelik hayatın daha yakından tanıdığımız olasılıklarına dönüşür. Bu da kuantum ölçüm problemine bir çözüm önerir; öyle ki, bu çözüm eğer gerçekleşirse, bekleyebileceğimiz en iyi şeydir. Bunu önce en iyimser bakış açısı altında tanımlayacağım ve sonra da hâlâ nelerin yapılması gerektiğini vurgulayacağım.

Eğer yalıtılmış bir elektronun dalga fonksiyonu, diyelim yüzde 50 burada, yüzde 50 orada olma olasılığı gösteriyorsa, bu olasılıkları kuantum mekaniğinin tuhaflığını kullanarak yorumlamamız gerekir. Seçeneklerden ikisi de kendilerini etkileşerek ve girişim deseni ortaya koyarak gösterebilecekleri için, ikisini de eşit derecede gerçek olarak düşünmeliyiz. Serbest bir dille söylersek, elektronun her iki konumda birden bulunmasında bir anlam vardır. Eğer şimdi elektronun konumunu yalıtılmamış, gündelik boyutlardaki laboratuvar araçlarıyla ölçersek ne olur? Elektronun kuşkulu yeriyle ilgili olarak, ölçüm aracının ibresinin bu değeri gösterme olasılığı yüzde 50, şu değeri gösterme olasılığı yüzde 50'dir. Ama dağılma nedeniyle gösterge, her iki değerin hayaletimsi bir karışımını gösterme durumunda olmayacaktır; dağılma nedeniyle bu olasılıkları normal, klasik, gündelik anlamlarıyla yorumlayabiliriz. Tıpkı bir paranın havaya fırlatıldığında yüzde elli yazı ve yüzde elli tura gelme

olasılığı olduğu halde yere düştüğünde ya yazı ya da tura gelmesi gibi, göstergenin de yüzde 50 bu değeri ve yüzde 50 şu değeri gösterme olasılığı vardır ama gösterge kesinlikle ya bir değeri, ya da diğerini gösterecektir.

Bütün diğer karmaşık, yalıtılmış olmayan cisimlere de benzer bir düşünüş mantığı uygulanabilir. Eğer bir kuantum hesaplaması kapalı bir kutuda oturmakta olan bir kedinin yüzde 50 canlı, yüzde 50 ölü olacağını ortaya koyuyorsa -çünkü bir elektron yüzde 50 olasılıkla bir bubi tuzağını tetikleyerek kediye zehirli gaz verecektir, yüzde 50 olasılıkla ise elektron hedefine isabet etmeyecek ve bubi tuzağını tetiklemeyecektir- dağılma kedinin hem ölü hem de canlı olmanın anlamsız bir karışımında olmayacağını söyler. Her ne kadar on yıllar boyunca "Bir kedi için hem canlı, hem de ölü olmak ne anlama gelir?", "Kutuyu açarak kediyi gözleme eylemi onu seçeneklerden birini seçmeye, canlı ya da ölü olmaya nasıl zorlar?" gibi konularda sıcak tartışmalar sürdüyse de, dağılma siz kutuyu açmadan çok önce, çevrenin hemen hemen sıfır zamanda milyarlarca gözlemi tamamlayarak bütün gizemli kuantum olasılıklarını daha az gizemli klasik olasılıklara dönüştürdüğünü söyler. Siz ona bakmadan çok önce çevre kediyi belirli, tek bir durumu almaya zorlamıştır. Dağınıklık, çevreden çarpan sayısız parçacık kuantum tuhaflığını parça parça uzaklaştırdığı için, kuantum acayipliklerini büyük cisimlerden dışarı "sızmaya" zorlar.

Kuantum ölçüm problemine daha tatmin edici bir çözüm bulunacağını düşünmek zordur. Daha gerçekçi olarak ve çevreyi gözardı eden basitleştirici varsayımdan vazgeçerek -ki bu basitleştirme kuantum alanının ilk yıllardaki gelişmesi için hayati bir öneme sahipti- kuantum mekaniğinin yapısal bir çözümü olduğunu görürüz. insan bilinci, insan deneyciler ve insan gözlemleri artık özel bir rol oynamazlar çünkü bunlar (biz!) hava molekülleri ve fotonlar gibi, verilen bir fiziksel sistemle etkileşen, çevreye ait öğeler olurlar. Cisimlerin evrimi ve onu ölçen deneyci arasında da artık aşama l/aşama 2 ayrımı olmaz. Her şey -gözlenen ve gözleyen- eşit durumdadır. Her şey -gözlenen ve gözleyen- kesinlikle Schrödinger denkleminde verilen aynı kuantum mekaniği yasalarına tabi olur. Ölçüm eylemi artık özel değildir; bu eylem yalnızca çevreyle temasın özel bir örneğidir.

Hepsi bu mu? Dağınım kuantum ölçüm problemini çözüyor mu? Dalga fonksiyonlarının, yol açabilecekleri potansiyel sonuçlardan biri dışında

diğerlerine kapıyı kapatmasının sorumlusu dağınım mı? Bazıları öyle düşünüyor. Carnegie Mellon'dan Robert Griffiths; Orsay'dan Roland Omnes; Sanla Fe Enstitüsü'nden nobel ödüllü Murray Gell-Mann; Sanla Barbara'daki Kaliforniya Üniversitesi'nden Jim Hartle gibi araştırmacılar büyük ilerleme kaydederek dağınımı kuantum ölçüm problemini çözen, bütüncül bir yapı (tutarlı olmayan geçmişler adı verilen) olarak geliştirdiklerini öne sürdüler. Benim gibi diğerlerinin de merakı uyandı ama henüz tam olarak ikna olmadılar. Gördüğünüz gibi dağınımın gücü, Bohr'un büyük ve küçük sistemler arasına diktiği yapay duvarı başarılı bir şekilde yok ederek her şeyin aynı kuantum mekaniksel yasalara tabi olmasını sağlamasıdır. Bu önemli gelişmeyi sanırım Bohr da memnunluk verici bulurdu. Her ne kadar çözülmemiş olan kuantum mekaniği ölçüm problemi fizikçilerin kuramsal hesaplamaları deneysel verilerle bağdaştırma yeteneklerini azaltmamış olsa da, Bohr ve arkadaşlarının, bazı sıkıntılı özellikleri olmakla birlikte son derece anlaşılır olan, kuantum mekaniğine özgü bir yapı geliştirmelerine yol açtı. Birçokları bu yapının dalga fonksiyonu çökmesi hakkındaki bulanık sözlerini veya klasik fiziğin alanına giren "büyük" sistemler kavramının kesin olmayışını sinir bozucu bulur. Dağınımı göz önüne alan araştırmacılar için böylesi muğlak fikirler büyük ölçüde gereksizdir.

Bununla birlikte, yukarıdaki tanımda kenarından geçip gittiğim temel bir konu, dağınım kuantum girişimini bastırarak tuhaf kuantum olasılıklarını daha tanıdık klasik olasılıklara dönüş- türse de dalga fonksiyonunda somutlaşan potansiyel sonuçların her birinin hâlâ gerçekleşmek için diğerleriyle yarışmakta olduğudur. Bu yüzden biz de hâlâ pek çok diğer olasılık "giderken" birinin nasıl olup dil "kazandığını" merak ederiz. Yazı-tura atıldığı zaman klasik fizik benzer bir soruya cevap verir. Klasik fizik, eğer paranın havadaki dönüşünü yeterince duyarlılıkla incelemişsek, ilke olarak, para yere düştüğünde yazı mı yoksa tura mı geleceğini belirleyebileceğimizi söyler. O zaman, daha yakından bakarsak, başlangıçta gözden kaçırdığımız ayrıntılar sonucu kesin olarak belirler. Aynı şey kuantum fiziğinde söylenemez. Tutarsızlık kuantum olasılıklarının klasik olasılıklar gibi yorumlanmalarına izin verir ama pek çok olasılıktan birinin gerçekleşmek üzere nasıl seçileceğinin ayrıntılarını vermez. Bohr'un düşündüğü gibi, bazı fizikçiler tek bir belirli sonucun nasıl ortaya çıktığını açıklamaya çalışmanın yanlış yola sapma olduğuna inanırlar. Bu fizikçiler,

dağılmayı da kapsayacak şekilde güncellenmiş olan kuantum mekaniğinin, hesaplamaları laboratuvar ölçüm aygıtlarının davranışını açıklayan, keskin bir biçimde formülleştirilmiş bir kuram olduğunu öne sürerler. Bu bakış açısına göre, bilimin amacı budur. Neyin olup bittiğine ilişkin bir açıklama bulabilmek, özel bir sonucun nasıl ortaya çıktığını anlayabilmek, bilgisayar çıktılarının ve detektörlerin okuduğu değerlerin ötesindeki gerçeklik düzeyini yakalamak mantıksız bir entelektüel açgözlülüğün ifadesidir.

Aralarında benim de bulunduğum birçokları ise farklı bir bakış açısına sahiptir. Verileri açıklamak bilimin görevidir. Ama birçok fizikçi bilimin verilerin desteklediği kuramlardan yararlanmak ve daha da öteye giderek, bunları kullanarak gerçekliğin doğasına ilişkin mümkün olan en çok bilgiyi elde etmek olduğuna inanıyorlar. Benimse ölçüm probleminin tam bir çözümüne ulaşmaya çalışarak kazanılacak bir kavrayış olduğuna ilişkin güçlü kuşkularım var.

Bu yüzden, her ne kadar çevreyi de kapsayan dağılmanın kuantum-klasik ayrımını ortadan kaldıran yapının hayati bir parçası olduğu yönünde yaygın bir uzlaşı varsa ve pek çok kimse bu fikirlerin günün birinde ikisi arasında tam ve ikna edici bir bağlantı oluşturacağı konusunda umutluysa da, bu köprünün bugün tam olarak inşa edilmiş olduğu konusunda henüz çoğu kimse ikna olmuş değildir.

Kuantum Mekaniği ve Zamanın Oku

O zaman, ölçüm probleminin neresindeyiz ve bunun zamanın oku için anlamı nedir? Genel olarak, gündelik yaşananları kuantum gerçekliğine bağlamayı hedefleyen iki grup öneri vardır, ilk grupta (örneğin bilgi olarak dalga fonksiyonu; birçok dünya; dağınım) Schrödinger denklemi öykünün her şeyidir; öneriler denklemlerin fiziksel gerçeklik konusunda ne anlama geldiğini yorumlamanın değişik yollarını sağlarlar. İkinci grupta (örneğin Bohm; Ghirardi-Rimini-Weber), Schrödinger denklemi başka denklemlerle tamamlanmalı (Bohm un yorumunda dalga fonksiyonlarının parçacıkları nasıl itelediğini gösteren denklem) veya değiştirilmelidir (Ghirardi-Rimini-Weber yorumunda yeni ve açık bir çökme mekanizmasının işin içine katılması). Zaman okuna olan etkinin belirlenmesi için hayati önemi olan

soru, bu önerilerin zamanın bir yönüyle diğeri arasında temel bir asimetri getirip getirmediğidir. Schrödinger denkleminin tıpkı Newton, Maxwell ve Einstein'ın denklemleri gibi zamanda ileri ve geri yönlerini eşit olarak ele aldığını hatırlayın. Schrödinger denkleminin zamanda evrim yönünü gösteren bir oku yoktur. Önerilerden herhangi biri acaba bunu değiştiriyor mu?

İlk grup önerilerde Schrödinger yapısı hiç değiştirilmez, bu nedenle zaman simetrisi korunur, ikinci grupta ise ayrıntılara bağlı olarak zaman simetrisi kalabilir veya kalmayabilir. Örneğin, Bohm'un yaklaşımında, önerilen yeni denklem gelecek zamanı ve geçmiş zamanı eşit olarak ele aldığından, bir asimetri ortaya çıkmaz. Ama Ghirardi, Rimini ve Weber in önerisi, zamansal yönü olan bir çökme mekanizması getirir; "sivri bir durumdan yayvan bir duruma giden, "çökmeyi geri alan" bir dalga fonksiyonu, değiştirilmiş olan denklemlerle uyum sağlamaz. Bu nedenle, öneriye bağlı olarak, kuantum ölçüm probleminin çözümüyle birlikte kuantum mekaniği, zamanın her iki yönünü de eşit bir biçimde ele almayı sürdürebilir veya sürdürmeyebilir. Şimdi her olasılığın ima ettiği sonuçlara bir göz atalım.

Eğer zaman simetrisi devam ederse (ki edeceğinden kuşkuluyum), geçen bölümdeki düşünüş mantığı ve sonuçların tamamı küçük değişikliklerle kuantum dünyasına taşınabilir. Zamanın oku tartışmamıza giren çekirdek fizik, klasik fiziğin zaman tersinmesi simetrisidir. Kuantum fiziğinin yapısı ve temel dili klasik fiziğinkinden bu kadar farklı iken -konum ve hızlar yerine dalga fonksiyonları; Newton yasaları yerine Schrödinger denklemi- kuantum denklemlerinin zaman tersinmesi simetrisi zamanın okunun ele alınış biçiminin değişmeyeceğini garantiler. Parçacıkları onların dalga fonksiyonları cinsinden tanımladığımız sürece, kuantum dünyasındaki entropi, klasik fizikteki gibi tanımlanabilir. Entropinin sürekli olarak artması gerektiği sonucu -hem gelecek, hem de geçmiş adını verdiğimiz yöne doğru artması- geçerliliğini koruyacaktır.

Böylece yeniden Bölüm 6'da karşılaştığımız aynı bilmeceye geldik. Eğer dünyaya ilişkin şu andaki gözlemlerimizi veri ve inkar edilemeyecek kadar gerçek olarak kabul edersek ve eğer entropi hem geleceğe hem de geçmişe doğru artmak zorunda ise, dünyanın bu şekilde nasıl var olduğunu ve nasıl evrileceğini nasıl açıklarız? Ve aynı iki olasılık yeniden ortaya çıkacaktır:

Ya gördüğümüz her şey zamanın büyük çoğunluğunu tamamen düzensiz olarak geçirmiş olan, sonsuz bir evrende ara sıra beklenebilecek istatistiksel bir dalgalanmayla ansızın ortaya çıkmış, ya da bir nedenle, Büyük Patlama dan hemen sonra son derece düşük olan entropi son 14 milyar yıldır yavaş yavaş artmış ve gelecekte de artışını sürdürecek olabilir. Bölüm 6'da olduğu gibi, hafızalarımıza, kayıtlara ve fizik yasalarına güvenmeme durumundan kaçınmak için, ikinci seçeneğe -düşük-entropili patlama- odaklanıyor ve her şeyin neden ve nasıl olup da böylesine özel bir durumda başladığına bir açıklama arıyoruz.

Diğer yandan, eğer zaman simetrisi kaybolursa -eğer ölçüm probleminin bir gün kabul edilen çözümü kuantum mekaniğinin içinde gelecek ve geçmişi temel olarak asimetrik olarak ele almaya başlarsa- bu, zamanın okuna en basit çözümü ortaya koyabilir. Örneğin yumurtaların kırılmalarının ama asla kendiliğinden yapışmamalarının, klasik fizik yasalarında bulduğumuzun tersine, kırılmanın bütün kuantum denklemlerini çözmesi, yapışmanınsa çözmemesi olduğunu gösterebilir. Kırılan bir yumurtanın tersine oynatılan filmi gerçek hayatta olmayacak bir hareketi temsil eder ki bu da böyle bir olayı neden hiçbir zaman gözlemediğimizi açıklar. Durum bu kadar açıktır.

Mümkündür. Ama bu dünya zaman okuna çok farklı bir açıklama sağlıyor gibi görünüyorsa da, gerçekte göründüğü kadar farklı olmayabilir. Bölüm 6'da vurguladığımız gibi, Savaş ve Barış'ın sayfalarının gittikçe düzensiz hale gelmesi için düzenli olarak başlamaları gerekir. Yumurtanın kırılarak düzensiz bir hale gelmesi için düzenli, sağlam bir yumurta olarak başlaması gerekir. Entropinin geleceğe doğru artması için geçmişte entropinin düşük olması gerekir ki he şey gittikçe daha düzensiz olma potansiyeline sahip olabilsin. Bununla birlikte yalnızca bir yasanın geçmişle geleceği farklı olarak ele alması, bu yasanın daha düşük entropili bir geçmişi ima etmesini gerektirmez. Yasa hâlâ geçmişe doğru entropinin arttığını ima ediyor olabilir (belki de entropi geçmiş ve geleceğe doğru asimetrik bir şekilde artıyor- dur) ve zamanda asimetrik bir yasanın geçmiş hakkında herhangi bir şey söyleyemiyor olması da olasıdır. Bu sonuncusu, piyasadaki zamanda asimetrik önerilerin yalnızca biri olan Ghirardi-Rimini-Weber önerisi için doğrudur. Bu önerideki çökme mekanizması bir kez işlevini yaptığında artık geri almanın hiçbir yolu yoktur, çökmüş bir dalga fonksiyonuyla başlayıp daha önceki yayılmış haline doğru evrilmesini

sağlamanın bir yolu yoktur. Dalga fonksiyonunun ayrıntılı şekli çöküşte kaybolur -sivri bir fonksiyona dönüşür- ve artık dalga fonksiyonunun çöküşten herhangi bir zaman süresi kadar önce nasıl olduğunu ortaya koymak olanaksızdır.

Bu yüzden, zamanda asimetrik bir yasa her şeyin neden bir zaman sırasına göre geliştiği, neden ters yönde gelişmediği konusuna kısmi bir açıklama getirmiş olsa bile, zamanda simetrik yasaların gerektirdiği ekleri de pekala gerektirebilir: Uzak geçmişte entropinin neden düşük olduğunun açıklanması. Elbette bu, kuantum mekaniğinin şimdiye kadar önerilen zamanda. Asimetrik değişiklikleri için doğrudur. Bu yüzden, gelecekteki bir keşif - benim her ikisini de olanaksız gördüğüm -iki şeyi, kuantum ölçüm problemine, ek olarak entropinin geleceğe doğru azaldığı, zamanda asimetrik bir çözüm- zamanın okunu açıklama çabalarımız bizi bir kez daha evrenin başlangıcına geri götürür ki bu da kitabın gelecek bölümlerinin konusudur.

Bu bölümlerin açıkça göstereceği gibi, kozmolojik düşünceler uzayın, zamanın ve maddenin kalbine doğru çeşitli gizemlerle giderler. Bu yüzden modern kozmolojinin fikirlerinin zamanın okuna doğru olan yolculuğunda, manzara konusunda acele etmeden, kozmik geçmişte iyi düşünülmüş bir geziye çıkmalıyız.

3 – UZAY, ZAMAN VE KOZMOLOJİ

VIII. Bölüm - Kar Taneleri ve Uzay-Zaman Hakkında

Simetri ve Evrenin Evrimi

Richard Feynman bir zamanlar eğer modern bilimin en önemli buluşunu bir cümlede özetlemesi gerekseydi "Dünya atomlardan yapılmıştır" cümlesini seçeceğini söylemişti. Ancak evreni kavrayışımızın ne kadar büyük bölümünün atomların özellikleri ve bunların arasındaki ilişkilere ait olduğunu anladığımız zaman -yıldızların parlamasının ve gökyüzünün mavi renginin nedenlerinden bu kitabı niçin ellerinizde hissettiğinize ve bu kelimeleri gözlerinizle gördüğünüze kadar- bilimsel mirasımızı özetlemek açısından Feynman'ın seçimini daha iyi takdir edebiliriz. Günümüzün önde gelen bilim insanlarının çoğunun, eğer ikinci bir cümle seçmeleri istenseydi, bu "Evrenin yasalarının temelini simetri oluşturur" cümlesi olurdu. Son birkaç yüz yıl içinde bilimde pek çok alt-üst oluş yaşanmıştır ama en kalıcı keşiflerin ortak bir yönü vardır: Bunlar, doğanın ne kadar farklı şekilde etkilenmeye çalışılırsa çalışılsın, değişmez kalan özelliklerini bulmuşlardır. Bu değişmez kalan niteliklere fizikçiler simetri adını verirler ve bu simetriler pek çok büyük ilerlemede giderek daha hayati roller oynamışlardır. Bu da simetrinin -bütün gizemli ve karmaşık kılıklarında- gerçeğin keşfedilmeyi beklediği karanlığın üzerine güçlü bir ışık tuttuğu yolunda yeterince kanıt sağladığını göstermektedir.

Aslında göreceğimiz gibi, evrenin tarihi büyük ölçüde simetrinin tarihidir. Evrenin evrimindeki en önemli anlar, dengenin ve düzenin birdenbire değişerek, önceki dönemlerden nitelik olarak farklı kozmik arenalara yol açtığı anlardır. Şu an geçerli olan kuram, evrenin ilk dönemlerinde böylesi bir dizi geçiş evresi geçirdiğini ve karşılaştığımız her şeyin, bu daha simetrik kozmik dönemin elle tutulur kalıntıları olduğu görüşünü taşıyor. Ama simetrinin evrilen evrenin kalbinde yer aldığı daha görkemli bir yan vardır. Zamanın kendisi simetri ile yakından bağlantılıdır. Açıkça görüleceği gibi, değişimin bir ölçüsü olarak zamanın ikinci anlamı ve "bir

bütün olarak evrenin yaşı ve evrimi" gibi şeylerden anlamlı olarak söz edebilmemizi sağlayan bir tür kozmik zamanın varlığı, çok hassas biçimde simetrinin özelliklerine bağlıdır. Bilim insanları, uzayın ve zamanın gerçek anlamını bulmak amacıyla geriye, başlangıca doğru bakarak bu evrimi incelediklerinde, simetri, başka türlü ulaşılamayacak olan cevaplar ve fikirler veren en sağlam kılavuz olmuştur.

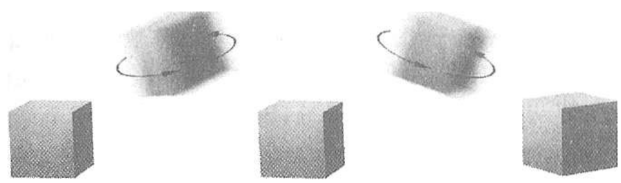
Simetri ve Fizik Yasaları

Simetriler çok boldur. Bir bilardo topunu elinizde tutun ve şu veya bu yönde -herhangi bir eksen çevresinde- döndürün, kesinlikle aynı görünür. Sade, yuvarlak bir yemek tabağını masaya koyun ve merkezi etrafında döndürün: Tümüyle değişmez görünür. Yeni oluşmuş bir kar kristalini yavaşça tutun ve her ucu, biraz önce komşu ucun gösterdiği yöne gelecek şekilde döndürün, hiçbir şey yapmamışsınız gibi olur. "A" harfini alın ve onu tepesinden geçen düşey eksen çevresinde döndürün, özgün harfin aynısını elde edersiniz.

Bu örneklerin açıkça gösterdiği gibi, bir cismin simetrileri, uygulandığında cismin görünüşünde hiçbir etkisi olmayan gerçek veya hayali değişikliklerdir. Bir cisim görünümünde bir fark olmadan ne kadar değişikliği kaldırabiliyorsa, o kadar simetriktir. Bir küre son derece simetriktir çünkü merkezinden geçen herhangi bir eksen etrafında -aşağı-yukarı, sol-sağ veya herhangi bir yön- döndürmek görüntüsünün aynı kalmasıyla sonuçlanır. Bir küp daha az simetriktir çünkü yalnızca yüzlerinin orta noktalarından geçen eksenlerin çevresinde 90° birimlerinde yapılan döndürmeler (ve bunların kombinasyonları) küpün görüntüsünün aynı kalmasıyla sonuçlanır. Elbette herhangi bir kimse, örneğin Şekil 8.1c'deki gibi bir döndürme yaparsa, küpü hâlâ tanıyabilirsiniz ama birinin onunla oynadığını açıkça fark edersiniz. Simetriler ise, aksine, en becerikli üçkâğıtçılar gibidir, yaptıkları değişiklikler geride hiçbir iz bırakmaz.

Bütün bunlar cisimlerin uzaydaki simetrilerinden örneklerdir. Bilinen fizik yasalarının altında yatan simetriler de bunlarla yakından ilişkilidir ama bunlar için daha soyul bir soru sorulması gerekir: Gözlediğiniz fiziksel bir olayı açıklayan yasalarda kesinlikle bir etkisi olmadan, sizin üzerinizde

veya çevrenizde -bir kere daim gerçek veya hayali- ne gibi değişiklikler yapılabilir? Dikkat edilirse, simetri sayılmak için bu tür değişikliklerin gözlemlerinizi değişmez olarak bırakması gerekmez. Biz daha çok bu gözlemleri yöneten yasaların değişip değişmemesiyle -değişiklikten önce gördüklerinizi açıklayan yasalarla değişiklikten sonra gördüklerinizi açıklayan yasaların farklı olup olmamasıyla- ilgiliyiz. Bu temel fikir etrafında şimdi bazı örnekleri inceleyelim.



Şekil 8.1 Eğer (a)'daki gibi bir küp, (b)'de olduğu gibi, karşılıklı yüzlerinin ortalarından geçen eksenler etrafında 90 derece ve katlarında döndürülürse değişmez görünür. Ama (c)'deki gibi herhangi başka bir dönme, fark edilir.

Olimpik bir jimnastikçi olduğunuzu ve son dört yıldır Connecticut jimnastik merkezinde çok sıkı çalışmakta olduğunuzu varsayın. Görünüşe göre sonsuz kere tekrarlayarak her hareketinizi gittikçe daha kusursuz hale getirmişsinizdir; havada yürüme hareketi için denge tahtasını ne kadar hızla itmek gerektiğini, ikili dönme hareketi için ne kadar sıçramanız gerektiğini, ikili parende atmak için paralel barda vücudunuzu ne kadar hızla fırlatmanız gerektiğini biliyorsunuzdur. Aslında vücudunuzun hareketlerini yönetenler bunlar olduğu için, vücudunuzun Newton yasalarına doğuştan alışık olduğunu hissedersiniz. Şimdi, son gösterinizi Olimpik yarışmaların merkezi olan New York'ta, izleyiciler karşısında yaparken, aynı yasaların geçerli olduğuna güvenirsiniz, çünkü gösterinizi tıpkı antrenmanlardaki gibi yapmaya niyetlisinizdir. Newton yasaları hakkında bildiğimiz her şey stratejinize güven verir. Newton yasaları bir konuma veya diğerine özel değildir, Connecticut'ta bir şekilde, New York'ta başka bir şekilde işlemezler. Nerede olursanız olun, aynı şekilde işlerler. Yerinizi değiştirmiş olsanız bile, vücudunuzun hareketlerini yöneten yasalar, tıpkı döndürülen bir bilardo topunun görüntüsü gibi, bundan etkilenmez.

Bu simetri, yer değiştirme simetrisi veya yer değiştirme değişmezliği adını alır. Sadece Newton yasalarına değil, Maxwell'in elektromanyetik yasalarına, Einstein'ın özel ve genel görelilik yasalarına, kuantum mekaniğine ve modern fizikte herhangi bir kimsenin ciddiye alacağı herhangi bir öneriye de uygulanır.

Ama önemli bir noktaya dikkat edin. Gözlemlerinizin ayrıntıları ve yaşananlar bazen bir yerden diğerine değişiklik gösterebilir ve gösterecektir. Eğer jimnastik gösterilerinizi Ay'da yapsaydınız, yukarı sıçramak için bacaklarınızla zemine uyguladığınız aynı kuvvete tepki olarak vücudunuzun havada çizdiği yol çok farklı olurdu. Ama bu farkı tam olarak anlıyoruz ve bu fark zaten yasalarla bütünleşmiş durumdadır. Ay, Dünya'dan daha küçük kütleli olduğu için, uyguladığı kütleçekimi etkisi daha küçüktür; sonuç olarak gövdeniz farklı yörüngeler çizer. Bu gerçek -bir cismin kütle çekiminin onun kütlesine bağlı olduğu gerçeği- Newton'un kütleçekimi yasasının (ve Einstein'ın çok daha rafine genel göreliliğinin de) ayrılmaz bir parçasıdır. Ay'daki ve Dünya'daki deneyimleriniz arasındaki fark, kütleçekimi yasasının bir yerden diğerine değiştiğini ima etmez. Yalnızca kütleçekimi yasasının zaten içinde barındırdığı çevresel farkı yansıtır. Bu yüzden, bilinen fizik yasalarının New York ve Connecticut'ta -veya şimdi ekleyelim Ay'da da- eşit bir biçimde uygulandığını söylediğimizde, bu doğrudur, ama yasaların bağlı olduğu çevresel farkları belirlemek zorunda kalabileceğinizi aklınızdan çıkarmayın. Bununla birlikte ki bu kilit bir sonuçtur, yasaların sağladığı açıklayıcı yapı, konumun değişmesiyle herhangi bir değişikliğe uğramaz. Konumdaki bir değişiklik fizikçilerin kara tahtanın başına geçerek yeni yasalar bulmaya çalışmalarını gerektirmez.

Fiyik yasaları bu şekilde işlemek zorunda değildir. Fizik yasalarının devletlerin yasaları gibi değişken olduğu bir evren hayal edebiliriz; bildiğimiz fizik yasalarının bize Ay'daki, Andromeda galaksisindeki, Yengeç bulutsusundaki veya evrenin öbür yanındaki fizik yasaları hakkında hiçbir şey söylemediği bir evren hayal edebiliriz. Aslında burada işleyen yasaların, evrenin uzak köşelerinde işleyen yasalarla aynı olduğundan kesinlikle emin değiliz. Ama eğer yasalar orada bir yerde değişiyorsa, bunun çok uzak bir yer olması gerektiğini biliyoruz, çünkü gittikçe daha hassas bir şekilde yapılan astronomi gözlemleri, yasaların her yerde, en azından görebildiğimiz uzayda aynı olduğu yolunda gittikçe daha ikna edici

kanıtlar ortaya koyuyor. Bu da simetrinin şaşırtıcı gücüne ışık tutuyor. Dünya gezegenine ve yakın çevresine mahkûm olmamıza rağmen, yer değiştirme simetrisi nedeniyle, buradan ayrılmadan bütün evrende işleyen temel yasaları öğrenebiliriz, çünkü keşfettiğimiz yasalar, o yasalardır.

Dönme simetrisi veya dönme değişmezliği yer değiştirme değişmezliğinin yakın akrabasıdır. Uzaydaki her yönün diğeriyle eşit olduğu düşüncesine dayanır. Dünyadan bakmak elbette bu sonuca varmanıza yol açmaz. Yukarı baktığınızda, aşağı baktığınız zaman gördüklerinizden çok daha farklı şeyler görürsünüz. Ama yine, bu da çevresel ayrıntıları yansıtır; yasaların kendilerinin karakteristik bir özelliği değildir. Eğer Dünyayı terk edip bütün yıldızlardan, galaksilerden ve diğer gökcisimlerinden uzağa, uzayın derinliklerine gitseniz, simetri açıkça ortaya çıkar: Simsiyah boşlukta bir yönü diğerinden ayıracak hiçbir şey yoktur. Hepsi eşittir. Maddenin ve kuvvetlerin özelliklerini araştırmak üzere kurmakta olduğunuz derin uzay laboratuvarının şu yöne mi yoksa bu yöne mi bakması gerektiği konusunda bir an bile düşünmezsiniz, çünkü yasalar bu seçime kesinlikle bağlı değildir. Eğer bir gece, bir şakacı laboratuvarın jiroskop ayarlarını değiştirse ve belirli bir eksen çevresinde biraz dönmesine neden olsa, bunun deneylerinizde incelediğiniz fizik yasalarına hiçbir etkisi olmasını beklemezsiniz. Yapılan her ölçüm bu beklentiyi tam olarak karşılar. Bu nedenle, yaptığınız deneyleri yöneten ve bulduğunuz sonuçları açıklayan yasaların, hem nerede olduğunuzdan -ki bu yer değiştirme simetrisidir- hem de uzayda hangi yöne doğru durduğunuzdan - ki bu da dönme simetrisidir- bağımsız olduğuna inanırız.

Bölüm 3'te incelediğimiz gibi, Galileo ve diğerleri, fizik yasalarının saygı göstermesi gereken bir simetrinin daha olduğunun çok iyi farkındaydılar. Eğer derin uzay laboratuvarınız sabit hızla hareket ediyorsa -o yöne doğru ister saatte 5 kilometre hızla, ister saatte 100.000 kilometre hızla gidiyor olun- bu hareketin, gözlemlerinizi açıklayan yasalar üzerinde hiçbir etkisi olmaz. Çünkü siz de, sizin sabit olduğunuzu, hareket edenlerin diğer her şey olduğunu iddia eden birisi kadar haklısınızdır. Görmüş olduğumuz gibi, Einstein bu simetriyi son derece beklenmedik bir biçimde, sizin hareketinizden veya ışık kaynağının hareketinden etkilenmeyecek gözlemlerin arasına ışığın hızını da katarak genişletmiştir. Bu, şaşırtıcı bir hamleydi, çünkü normal olarak biz bir cismin hızının niteliklerini, gözlenen bu hızın genellikle gözlemcinin hareketine bağlı olduğunu bildiğimiz için,

çevresel ayrıntılar kutusuna atarız. Ama doğanın Newtonsal yapısının çatlaklarından ışığın simetrisinin aktığını gören Einstein, tıpkı bir bilardo topunun dönmeden etkilenmemesi gibi ışık hızının da hareketten etkilenmediğini bildirerek ışığın hızını doğanın ihlal edilemez bir yasası düzeyine yükseltti.

Einstein'ın diğer büyük keşfi olan genel görelilik, daha da fazla simetrik olan kuramlara doğru giden yola çok iyi bir şekilde uyum sağlar. Nasıl özel göreliliğin birbirlerine göre sabit hızla hareket eden bütün gözlemciler arasında simetri kurduğunu düşünüyorsak, genel göreliliğin de, bir adım ileri giderek, bütün ivmelenen gözlemciler arasında simetri kurduğunu düşünebiliriz. Bu olağandışıdır, çünkü vurguladığımız gibi, her ne kadar sabit hızlı hareketi hissedemiyor olsak da ivmeli hareketi hissedebiliriz; Dolayısıyla, gözlemlerinizi tanımlayan fizik yasalarının, ivmelendiğiniz zaman hissettiğiniz fazladan kuvveti açıklayabilmek için farklı olmaları gerekirmiş gibi duruyor. Newton un yaklaşımında da durum böyledir, onun bütün üniversite birinci sınıf fizik kitaplarında yer alan yasalarının, eğer ivmelenen bir gözlemci tarafından kullanmıyorlarsa, değiştirilmeleri gerekir. Ama Bölüm 3'te incelenen eşdeğerlik ilkesi gereğince, Einstein, ivmelenme sonucu hissettiğiniz kuvvetin, uygun şiddette bir kütleçekimi alanında hissettiğiniz kuvvetten ayırt edilemeyeceğini fark etmişti (ivme büyüdükçe kütleçekimi alanı da büyür). Bu yüzden Einstein'ın daha rafine perspektifine göre, çevrenizde uygun bir kütleçekimi alanı bulunduğu sürece, fizik yasaları siz ivmelendiğinizde de değişmezler. Genel görelilik bütün gözlemcileri; rasgele, sabit olmayan hızlarla hareket edenleri bile eşit olarak ele alır -bunlar tamimiyle simetriktir- çünkü her biri, hissedilen kuvvetleri farklı kütleçekimi alanlarına atfederek, kendilerinin sabit olduğunu öne sürebilir. İvmelenen bir gözlemcinin ve bir diğerinin gözlemleri arasındaki farklar, bu yüzden, jimnastik gösterinizi Dünya da veya Ay'da yaparken gördüğünüz farklardan daha fazla şaşırtıcı olmadığı gibi doğa yasalarındaki değişiklikler için de daha fazla kanıt sunmaz.

Bu örnekler pek çok kimsenin, Feynman'ın hemfikir olacağından çok kuşkulu olduğum şekilde, neden doğa yasalarının altında yatan çok sayıda simetrinin, bilimsel görüşlerimizin bir özeti olarak, atom hipotezinin hemen ardından geldiğini düşündüklerini gösteriyor. Ama bu öykünün dahası var. Son yirmibeş-otuz yıldır, fizikçiler simetrileri açıklayıcı merdivenin en üst basamaklarına yükselttiler. Önerilen bir doğa yasasıyla karşılaştığınızda,

sorulacak doğal bir soru şudur: Neden bu yasa? Neden özel görelilik? Neden genel görelilik? Neden Maxwell'in elektromanyetizma kuramı? Neden Yang-Mills'in zayıf ve nükleer kuvvet kuramları (bunları yakında inceleyeceğiz)? Önemli bir cevap, bu kuramların çok hassas deneylerce tekrar tekrar doğrulanan öngörülerde bulunduklarıdır. Elbette bu, fizikçilerin bu kuramlara duyduğu güvenin temelidir ama önemli bir şeyi dışarıda bırakır.

Fizikçiler bu kuramların doğru yolda olduklarına da inanırlar, çünkü tanımlaması zor bir şekilde, doğru olduklarını hissederler ve simetri görüşleri bu hissin temelini oluşturur. Evrende hiçbir yerin, bir başkasıyla karşılaştırıldığında özel olmamasının doğru olduğu hissi vardır, bu yüzden fizikçiler yer değiştirme simetrisinin doğanın simetrileri arasında olması gerektiğine güven duyarlar. Hiçbir sabit hızlı hareketin diğeriyle karşılaştırıldığında özel olmamasının doğru olduğu hissi vardır, bu yüzden fizikçiler, sabit hızla hareket eden bütün gözlemciler arasında tam bir simetriyi kapsayan özel göreliliğin doğa yasalarının temel bir parçası olduğuna güven duyarlar. Bunun gibi, herhangi bir gözlemsel bakış noktası -olası bir ivmeli hareketin kapsanmasından bağımsız olarak- bir diğeri kadar geçerli olmalıdır. Bu yüzden fizikçiler, bu simetriyi işin içine katan en basit kuram olan genel göreliliğin, doğal olayları yöneten en derin gerçekler arasında olduğuna inanırlar. Yakında göreceğimiz gibi, kütleçekiminin dışındaki üç kuvvetin kuramları -elektromanyetizma, güçlü ve zayıf nükleer kuvvetler- başka, daha soyut ama aynı derecede zorlayıcı simetri ilkelerini temel almaktadırlar. Bu yüzden doğanın simetrileri yalnızca doğa yasalarının sonuçları değildir. Bizim modern perspektifimize göre simetriler, yasaların çıktığı kaynağın temelidir.

Simetri ve Zaman

Doğanın kuvvetlerini yöneten yasaları biçimlendirmenin öte-sinde, simetri fikirleri zaman konusunun kendisi için de hayati bir önem taşır. Zamanın geçtiğini, bazı şeylerin eskisinden farklı olduğuna dikkat ederek anlarız. Kol saatimizdeki saat ibresi farklı bir rakam gösterir, Güneş'in gökyüzündeki konumu farklıdır, sayfaları dağınık olan Savaş ve Barışın yapraklan daha düzensizdir, kola şişenizden kaçan karbon dioksit

molekülleri daha dağılmıştır; tüm bunlar bir şeylerin değiştiğini açıkça gösterir ve böyle değişikliklerin gerçekleşme potansiyelini zaman sağlar. John Wheeler'dan aktarırsak, zaman, doğanın her şeyin bir anda olup bitmesini önlemek için kullandığı bir yoldur.

Bu yüzden zamanın varlığı özel bir simetrinin yokluğuna bağlıdır: Sezgisel kavramımıza herhangi bir benzerlik gösteren an be an kavramını tarif etmek için bile evrendeki şeyler an be an değişmelidir. Eğer şeylerin şimdi nasıl olduklarıyla eskiden nasıl oldukları arasında mükemmel bir simetri olsaydı, an be an değişimin bir bilardo topunun döndürülmesiyle ortaya çıkan değişimin ötesinde sonuçları olmasaydı, şimdi algıladığımız biçimiyle zaman olmazdı. Bu, Şekil 5.1 de gösterildiği gibi, uzay-zamanın genişlemediğini söylemekle aynı şey değildir, uzay-zaman genişleyebilirdi. Ama zaman ekseni boyunca her şey düzgün, birörnek olacağı için, evrenin evrildiği veya değiştiği bir yön olmazdı. Zaman, bu gerçekliğin arenasının soyut bir niteliği olurdu -uzay-zaman sürekli ortamının dördüncü boyutu- aksi takdirde, tanınması mümkün olmazdı.

Bununla birlikte, zamanın varlığı, özel bir simetrinin yokluğuyla çakışıyor olsa bile, kozmik bir ölçekteki uygulaması, evrenin farklı bir simetriye çok saygılı olmasını gerektirir. Fikir basittir ve Bölüm 3'ü okurken sizin de kafanıza takılmış olabilecek bir soruyu cevaplar. Eğer görelilik bize, zamanın geçişinin, ne kadar hızlı hareket ettiğimize ve içinde bulunuyor olabileceğimiz kütleçekimi alanına bağlı olduğunu öğretiyorsa, astronomların ve fizikçilerin evrenin tamamının belirli ve kesin bir yaşta -bu günlerde 14 milyar yıl olarak alınan bir yaş- olduğunu söylemelerinin anlamı nedir? Kime göre ondört milyar yıl? Hangi saate göre ondört milyar yıl? Çok uzaklardaki Tadpole galaksisinde yaşayan varlıklar da evrenin yaşının 14 milyar yıl olduğu sonucuna varırlar mı ve eğer öyleyse, onların saatlerinin de bizimkilerle aynı hızda işlemelerini sağlayan şey nedir? Cevap simetriye, uzayda simetriye dayanır.

Eğer gözleriniz, dalga boyları kırmızı ve portakal renginden çok daha uzun olan ışıkları görebilseydi, yalnızca düğmesine bastığınızda mikrodalga fırınınızın içinin çalışmaya başlayarak ışıkla dolduğunu değil, herkesin karanlık algıladığı bir gecede, gökyüzünde dağılmış halde bulunan soluk ve yaygın bir parlamayı da görebilecektiniz. Kırk yıldan daha uzun bir süre önce bilim insanları, evrenin, Büyük Patlama’nın hemen ertesindeki

bunaltıcı koşulların soğumuş bir kalıntısı olan mikrodalga ışınımıyla -uzun dalga boylu ışık- dolu olduğunu keşfettiler. Bu kozmik mikrodalga fon ışınımı tümüyle zararsızdır. İlk zamanlarda çok sıcaktı ama evren evrilip genişledikçe bu ışınım sürekli olarak seyreldi ve soğudu. Bugün, mutlak sıfırın hemen hemen 2.7 derece üzerinde olup, öne sürülen en büyük zararı, anten kablosunu çıkarıp yayın yapmayan bir frekansa ayarladığınızda televizyonunuzun ekranında gördüğünüz karlanma görüntüsüdür.

Ama bu hafif parazit astronomlara, bir tyrannosaurus kemiğinin paleontologlara verdiğini verir: Uzak geçmişte ne olduğunu kurgulayabilmek için hayati önemi olan, geçmişe açılan bir pencere. Bu ışınımın, son on yıldaki hassas uydu ölçümlerince ortaya çıkarılan temel özelliği, son derece düzgün, birörnek olmasıdır. Işınımın gökyüzünün bir bölümündeki sıcaklığı, diğer bir bölümündeki sıcaklığından derecenin binde birinden daha az fark eder. Dünyada böyle bir simetri, Wheather Channel'i (Meteoroloji Kanalı) çok anlamsız bir hale getirirdi. Eğer sıcaklık Jakarta'da 35 derece ise, Adelaide, Şanghay, Cleveland, Anchorage ve diğer herhangi bir yerde sıcaklığın 34,999 dereceyle 35,001 derece arasında olacağını hemen anlardınız. Kozmik ölçekte ise, tersine, ışınımın sıcaklığının birörnekliği, iki kritik düşünceye yol açtığı için inanılmaz ölçüde ilginçtir.

Birincisi, bu ışınım evrenin ilk dönemlerinde kara delikler gibi büyük, yığınsı, yüksek-entropili madde topaklarıyla dolu olduğu yolunda gözlemsel kanıtlar sağlar, çünkü böylesi türdeş olmayan bir ortam, ışınımın üzerinde de türdeş olmayan izler bırakmış olmalıdır. Oysa ışınımın sıcaklığının birörnek olması genç evrenin türdeş olduğunu ortaya koyar ve Bölüm 6'da gördüğümüz gibi, kütleçekiminin önemli olduğu durumlarda -evrenin ilk dönemlerinde olduğu gibi- türdeşlik düşük entropiyi ima eder. Bu da iyi bir şeydir çünkü zamanın oku konusundaki tartışmamız, evrenin düşük entropili başlamasına dayanıyordu. Kitabın bu bölümündeki amaçlarımızdan biri, bu gözlemi açıklayabilmek için gidebileceğimiz kadar gitmektir. Türdeş, düşük-entropili, çok büyük ölçüde düşük olasılıklı çevrenin nasıl oluştuğunu anlamak istiyoruz. Bu bizi zamanın okunun kaynağını anlamaya büyük bir adım yaklaştıracaktır.

İkincisi, her ne kadar evren, Büyük Patlama'dan beri evriliyorsa da, ortalama olarak bu evrim evrenin her yerinde hemen hemen aynı olmuş olmalı. Buradaki, Whirlpool galaksisindeki, Coma kümesindeki ve diğer

her yerdeki sıcaklığın virgülden sonra dördüncü basamağa kadar aynı olması için, uzayın her bölgesindeki fiziksel koşulların Büyük Patlama'dan bu yana temel olarak aynı şekilde evrilmiş olması gerekir. Bu önemli bir sonuç olmakla birlikte doğru yorumlanması gerekir. Geceleyin gökyüzüne bir göz atmak elbette çeşitlenmiş bir evreni gözler önüne serer: Gezegenler ve her çeşit yıldızlar uzayda şuraya buraya serpiştirilmişlerdir. Ama önemli nokta, evrenin bütününün evrimini çözümlediğimiz zaman, bu 'küçük'-ölçekli değişiklikler üzerinden ortalama alan bir "makro" perspektiften baktığımız ve büyük-ölçekli ortalamaların hemen hemen tam olarak birörnek göründüğüdür. Bir bardak suyu düşünün. Molekül düzeyinde su hiç de türdeş bir yapıya sahip değildir: Şurada bir H20 molekülü, arada bir uzay parçası, burada bir H2O molekülü daha vb. Ama eğer küçük ölçekli moleküler kümelilik üzerinden ortalama alır ve suyu gündelik hayatta çıplak gözle gördüğümüz "büyük" ölçeklerde incelersek, bardaktaki su son derece birörnek ve türdeş görünür. Gökyüzüne doğru baktığımızda gördüğümüz birörnek olmama hali, tek bir H20 molekülünün mikroskobik görüntüsü gibidir. Ama bir bardak suda olduğu gibi, evren yeterince büyük ölçeklerde -yüz milyonlarca ışık yılı mertebesindeki ölçeklerde- incelendiğinde, olağanüstü türdeş görünür. Bu yüzden ışınımın birörnekliği hem fizik yasalarının, hem de evrendeki ortamın ayrıntılarının fosilleşmiş bir vasiyetidir.

Bu durumun önemli sonuçları vardır çünkü bir bütün olarak evrene uygulanabilecek zaman kavramını tanımlamamıza olanak veren şey, evrenin birörnekliğidir. Eğer değişimin ölçüsü olarak geçerli bir geçen zaman tanımını alırsak, uzaydaki koşulların birörnekliği, evrendeki değişimin birörnekliğinin ve bu yüzden geçen zamanın birörnekliğini de ima eder. Nasıl dünyanın jeolojik yapısının birörnekliği biri Amerika'da, diğeri Afrika'da, bir diğeri ise Asya'da bulunan jeologların dünyanın tarihi ve yaşı konusunda hemfikir olmalarına olanak veriyorsa, uzayın tamamındaki kozmik evrimin birörnekliği de biri Samanyolu galaksisinde, diğeri Andromeda galaksisinde, bir diğeri ise Tadpole galaksisinde bulunan fizikçilerin evrenin tarihi ve yaşı konusunda hemfikir olmalarına olanak verir. Somutlaştıracak olursak, evrenin türdeş evrimi, biri burada, diğeri Andromeda galaksisinde, bir diğeri ise Tadpole galaksisinde bulunan saatlerin ortalama olarak hemen hemen aynı fiziksel koşullara maruz

kalacağını ve bu yüzden hemen hemen aynı hızda çalışacakları anlamına gelir. Böylece uzayın türdeşliği evrensel bir eşzamanlılık sağlar.

Şimdiye kadar önemli ayrıntıları (bir sonraki alt bölümde işlenecek olan uzayın genişlemesi gibi) atlamış olsam da, tartışma konunun özünü aydınlatıyor: Zaman simetrilerin kavşağında bulunur. Eğer evrende mükemmel bir zamansal simetri olsaydı -tamimiyle değişmez olsaydı- zamanın ne anlama geldiğini tarif etmek bile zor olurdu. Öte yandan, eğer evren, uzayda simetriye sahip değilse -eğer, örneğin fon ışınımı farklı bölgelerde çok farklı sıcaklıklara sahip olacak şekilde gelişigüzel olsaydı- kozmolojik olarak zamanın pek anlamı olmazdı. Farklı yerlerdeki saatler farklı hızlarla çalışır ve böylece evren 3 milyar yaşındayken nasıl olduğu sorulduğunda, cevap üç milyar yıl geçtiğini kimin saatiyle gördüğünüze bağlı olurdu. Bu da karmaşık olurdu. Neyse ki evrenimizde zamanı anlamsız kılacak kadar çok simetri yok ama böylesi karmaşık durumlardan kaçınmamıza yetecek kadar, evrenin toplam yaşı ve zaman içindeki evriminden söz edecek kadar simetri var.

O zaman, şimdi dikkatimizi bu evrime çevirelim ve evrenin tarihine bir göz atalım.

Yapıyı Esnetmek

Evrenin tarihi kulağa büyük ve karmaşık bir konu gibi gelmekle birlikte, genel hatlarıyla şaşırtıcı derecede basit olup büyük ölçüde bir temel gerçeğe dayanır: Evren genişliyor. Bu gelişen kozmik tarihin en önemli öğesi ve kesinlikle insanlığın en büyük keşiflerinden biri olduğu için, kısaca bunun nasıl böyle olduğunu görelim.

1929'da Edwin Hubble, Pasadena, Kaliforniya'da bulunan Mount Wilson'daki 2.5 metre çapındaki teleskobu kullanarak, saptayabildiği otuzbeş-kırk galaksinin birbirlerinden uzaklaşmakta olduklarını buldu. Aslında Hubble bir galaksi ne kadar uzaktaysa, uzaklaşma hızının o kadar fazla olduğunu fark etti. Anlamlı bir ölçek verelim: Hubble'ın özgün gözlemlerinin daha rafine çeşitlemeleri (diğerlerinin yanısıra Hubble Uzay Teleskobu da kullanılarak binlerce galaksi incelenmiştir) bizden 100 milyon ışık yılı uzaktaki galaksilerin bizden saatte 9 milyon kilometre hızla, 200

milyon ışık yılı uzaktaki galaksilerin saatte 18 milyon kilometre hızla, 300 milyon ışık yılı uzaktaki galaksilerinse saatte 26.5 milyon kilometre hızla uzaklaşmakta olduklarını göstermiştir. Hubble’ın keşfi şok ediciydi çünkü hâkim olan bilimsel ve felsefi önyargılar evrenin en büyük ölçeklerde durağan, sonsuz, sabit ve değişmez olduğunu öne sürüyordu. Ama Hubble bu görünümü bir hamlede dağıttı. Einstein'in genel göreliliği, mükemmel bir deney ve kuram birlikteliği sergileyerek, Hubble’ın keşfine güzel bir açıklama getirdi.

Aslında bir açıklama bulmanın özel bir zorluğu olmadığını düşünebilirsiniz. Sonuçta, eğer bir fabrikanın yanından geçerken her çeşit malzemenin hızla her yöne doğru uçtuğunu görürseniz, büyük olasılıkla bir patlama olduğu sonucuna varırsınız. Metal ve beton parçalarının izlediği yolları geriye doğru izlerseniz bunların bir noktaya doğru gittiğini görür ve burasının da büyük olasılıkla patlamanın gerçekleştiği yer olduğunu bulursunuz. Aynı düşünüş mantığı, yeryüzünden baktığımızda -Hubble'ın gözlemlerinin ve sonradan yapılan gözlemlerin desteklediği gibi- galaksiler bizden uzaklaşıyor gibi göründüklerinden, bizim uzaydaki konumumuzun, yıldızların ve galaksilerin hammaddesini birörnek olarak kusan, çok eski bir patlamanın yeri olduğunu gösterir. Ama bu kuramın sorunu, uzayın bir bölgesini -bizim bulunduğumuz bölge- diğerlerinden ayırarak, evrenin doğum yeri olarak işaretlemesidir. Eğer durum böyle olsaydı, derin anlamları olan bir asimetriye neden olurdu: Bu patlamanın olduğu yerden -yani bizden- uzak bölgelerdeki fiziksel koşullar, buradakilerden çok farklı olurdu. Astronomi verilerinde böyle bir asimetrinin ipuçları yoktur. Bunun da ötesinde, Kopernik öncesi düşünce ile karışmış olan "insan içinci" açıklamalarda büyük ölçüde kuşkulanıldığının tersine, Hubble'ın keşfinin daha oturmuş bir yorumu, bizim konumumuzun kozmik düzende özel bir yer işgal etmediği bir açıklamayı gerektirir.

Genel görelilik böyle bir açıklama sağlar. Einstein uzayın ve zamanın esnek, sabit olmayan, lastik gibi, katı olmayan bir yapıda olduğunu buldu ve uzayla zamanın madde ve enerjinin varlığına nasıl tepki verdiğini kesin bir biçimde gösteren denklemleri ortaya koydu. 1920'lerde Rus matematikçi ve meteorolog

Alexander Friedmann ve Belçikalı papaz ve astronom Georges Lemaître birbirlerinden bağımsız olarak, bütün evrene uygulanan Einstein'ın

denklemlerini çözümlediler ve bu ikisi çarpıcı bir şey buldular. Tıpkı Dünya'nın kütleçekiminin havaya fırlatılan bir topun ya daha yükseklere çıkıyor olması ya da aşağıya düşüyor olması gerektiğini, havada sabit duramayacağını (en yüksek noktaya ulaştığı an dışında) ima ettiği gibi, Friedmann ve Lemaître bütün evrene dağılmış bulunan madde ve ışınımın kütleçekimi nedeniyle uzayın yapısının ya daha da gerilmesi ya da büzülmesi gerektiğini, sabit boyutlarda kalamayacağını ima ettiğini buldular. Aslında bu, benzetmenin fiziğin yalnızca özünü değil, matematiksel içeriğini de gösterdiği ender örneklerden biridir çünkü yerden yüksekteki topun yüksekliğini yöneten denklemler Einstein'ın evrenin boyutlarını yöneten denklemleriyle hemen hemen aynıdır."

Genel görelilikte uzayın esnekliği, Hubble'ın keşfinin yorumlanması için esaslı bir yol sağlar. Genel görelilik, galaksilerin dışarı doğru hareketini fabrikadaki patlamanın kozmik çeşitlemesi olarak açıklamak yerine, uzayın milyarlarca yıldır gerilmekte olduğunu söyler. Uzay şiştikçe, tıpkı kabarmakta olan üzümlü bir kekin içindeki üzümlerin birbirlerinden gittikçe uzaklaşması gibi, galaksileri de birbirlerinden uzağa doğru sürüklemektedir. Bu nedenle dışarı doğru hareketin kaynağı uzayda ortaya çıkan bir patlama değildir. Dışarı doğru hareket uzayın kendisinin sürekli olarak dışarı doğru şişmesinin sonucudur.

Kilit düşünceyi daha iyi anlamak için, çok yararlı bir örnek olduğundan fizikçilerin sık sık başvurduğu şişmekte olan balon örneğini gözünüzün önüne getirin (bu benzetmenin, kitabın sonundaki notlarda göreceğiniz gibi, en azından, kozmolojiye önemli katkıları olan bir bilim insanı olan Willem de Sitter'la yapılan bir röportaj sonrasında 1930'da bir Hollanda gazetesinde çıkan, eğlenceli bir çizgi-öyküye kadar izi sürülebilir')- Bu örnekte içinde yaşadığımız üç boyutlu uzay, Şekil 8.2a'da görüldüğü gibi göz önünde canlandırması daha kolay olan ve gittikçe daha fazla şişirilen, iki boyutlu, küresel bir balon yüzeyine benzetilir. Galaksiler balonun yüzeyine eşit aralıklarla yapış-tırılmış bozuk paralarla temsil edilir. Dikkat ederseniz, balon genişledikçe paralar da birbirlerinden uzaklaşarak genişleyen uzayın nasıl galaksileri de sürükleyerek birbirlerinden uzaklaştırdığı konusunda basit bir benzetme ortaya koyar.

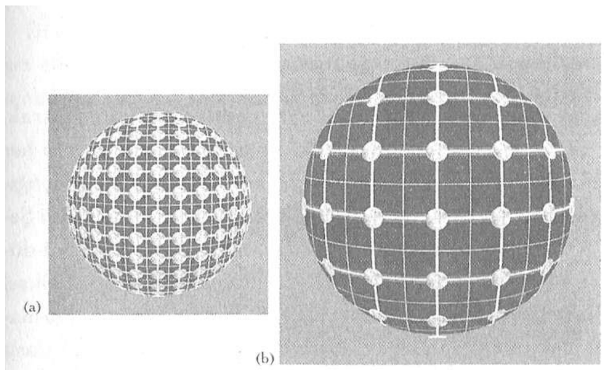
Bu modelin önemli bir özelliği, paralar arasında tam bir simetri olmasıdır çünkü bir paradan bakıldığında ne görülüyorsa diğerinden bakıldığında da

aynı şey görülür. Bunu göz önünde canlandırabilmek için küçüldüğünüzü, bu paralardan birinin üzerinde oturduğunuzu ve balon yüzeyinin her tarafına baktığınızı hayal edin (bu benzetmede balonun yüzeyi bütün uzayı temsil ettiği için balona dışarıdan bakmanın hiçbir anlamı yoktur). Ne görürsünüz? Balon genişledikçe diğer paraların sizden her yöne doğru uzaklaştıklarını görürsünüz. Eğer başka bir paranın üzerinde olsaydınız ne görürdünüz? Simetri, aynı şeyi göreceğinizi garantiler: Paralar her yöne doğru uzaklaşmaktadır. Bu somut görüntü -gittikçe daha hassas astronomi gözlemleri tarafından desteklenen- evrendeki 100 milyardan daha fazla sayıdaki galaksilerden herhangi birinde bulunan ve güçlü bir teleskopla geceleyin gökyüzüne bakan bir gözlemcinin ortalama olarak bizimle aynı görüntüyü, her yönde birbirlerinden uzaklaşmakta olan galaksileri göreceği yolundaki inancımızı çok iyi örnekler.

Ve bu yüzden, dışarı doğru olan hareket önceden var olan bir uzaydaki bir fabrika patlamasına benzemiyor da, uzayın kendisinin gerilmesinden kaynaklanıyorsa, bu hareketin merkezi olan özel bir noktaya -özel bir paraya veya özel bir galaksiye- ihtiyaç yoktur. Her nokta -her para, her galaksi- diğerleriyle tam olarak eşittir. Herhangi bir noktadan görülen manzara, patlamanın merkezinden görülen manzara gibidir. Her para diğer paraların uzaklaşmakta olduğunu görür, bizim gibi herhangi bir galaksideki bir gözlemci, bütün diğer galaksilerin uzaklaşmakta olduğunu görür. Bu, bütün konumlar için doğru olduğundan, dışarı doğru olan hareketin yayıldığı merkez olan özel, tek bir konum yoktur.

Üstelik bu açıklama yalnızca galaksilerin uzaysal olarak türdeş olan dışarı doğru olan hareketlerinin nedenini nitel olarak ıklamakla kalmaz, Hubble tarafından bulunan ve sonraki gözlemlerce daha büyük bir kesinlikle doğrulanan nicel ayrıntıların nedenlerini gösterir. Şekil 8.2b'de gösterildiği gibi, eğer balon, verilen bir zaman aralığında şişerek örneğin iki katına çıkarsa, bütün uzaysal uzaklıklar da iki katına çıkacaktır. Aralarında 1 santimetre olan paraların arasında şimdi 2 santimetre, 2 santimetre olanların aralarında şimdi 4 santimetre, 3 santimetre olanlarınsa aralarında şimdi 6 santimetre bulunacaktır vb. Bu yüzden, belirli herhangi bir zaman aralığında iki paranın arasındaki uzaklık artışı, başlangıçla aralarındaki uzaklıkla orantılıdır. Verilen bir zaman aralığında uzaklığın daha fazla artması daha büyük hız anlamına geldiği için, başlangıçta birbirlerinden uzak olan paralar birbirlerinden daha hızlı uzaklaşırlar. Özet olarak, iki para

birbirinden ne kadar uzaksa, aralarında o kadar fazla balon yüzeyi vardır, bu yüzden de balon şişerken birbirlerinden daha hızlı uzaklaşırlar. Bu düşünüş mantığını tam olarak genişleyen uzaya ve onun kapsadığı galaksilere uygularsak, Hubble'ın gözlemlerinin bir açıklamasını elde ederiz. İki galaksi birbirlerinden ne kadar uzaksa, aralarında o kadar büyük uzay vardır ve bu yüzden uzay gerilirken (şişerken) birbirlerinden o kadar hızlı uzaklaşırlar.



Şekil 8.2 (a) Eğer bir kürenin yüzeyine eşit aralıklarla bozuk paralar yapıştırılırsa, herhangi bir paradan görülen manzara diğeriyle aynıdır. Bu da herhangi bir galaksiden bakıldığında görülenlerin, bir başka galaksiden bakıldığında görüleceklerle aynı olduğu yolundaki inancımızla örtüşür. (b) Eğer küre genişlerse, paralar arasındaki uzaklık artar. Üstelik 8.2a'daki iki para birbirinden ne kadar uzaksa, 8.2b'deki genişleme sırasında da aralarındaki uzaklık o kadar çok artar. Bu da bir galaksiye bakılan nokta ne kadar uzak olursa, galaksinin o noktadan o kadar hızlı uzaklaştığı yolundaki ölçümlerimizle paralellik gösterir. Dikkat ederseniz, burada hiçbir para, özel olarak diğerlerinden ayrılmaz ki bu da evrendeki hiçbir galaksinin uzayın genişlemesinin merkezi veya özel bir noktası olmadığı inancımızı destekler.

Genel görelilik, galaksilerin gözlenen hareketini uzayın şişmesine bağlayarak yalnızca uzaydaki bütün noktaları simetrik olarak ele alan bir çözüm sağlamakla kalmamış, bir hamlede Hubble'ın bütün verilerini açıklamıştır. İşte fizikçilerin neredeyse "yanlış olamayacak kadar güzel" diye tanımladıkları, gözlemleri sayısal bir kesinlikle ve sanatsal bir simetriyle vererek kutudan -yani uzayın kendisinden- çıkan, böyle bir açıklamadır. Uzayın yapısının gerilmekte olduğu yolunda, neredeyse evrensel bir fikir birliği vardır.

Genişleyen Evrende Zaman

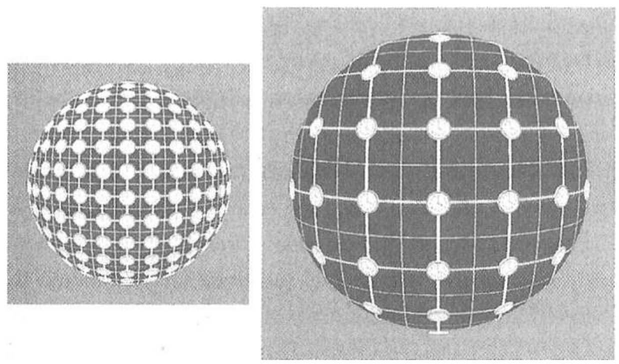
Balon modelinin biraz farklı bir çeşitlemesini kullanarak, uzay genişliyor olsa bile, uzaydaki simetrinin nasıl evrenin her tarafına birörnek uygulanan bir zaman kavramına yol açtığını artık daha kesin olarak anlayabiliriz. Her bozuk paranın Şekil 8.3'teki gibi, birbirinin eşi olan saatlerle değiştirildiğini düşünün. Görelilikten, birbirinin eşi olan saatlerin farklı fiziksel etkilere -farklı hareketlere veya farklı kütleçekimi alanlarına- maruz kaldıklarında farklı hızla işleyeceklerini biliyoruz. Basit ama kilit bir gözlem, şişen balonun üzerindeki paralar arasındaki tam simetrinin saatler arasındaki simetriye dönüşmesidir. Bütün saatler aynı fiziksel koşullara maruz kalır, bu yüzden aynı hızla işler ve aynı miktarda zaman geçtiğini ölçerler. Benzer biçimde, galaksilerin arasında tam bir simetri bulunan, genişleyen bir evrende, bir galaksi veya diğeriyle birlikte hareket eden saatler de aynı hızda işlemeli ve aynı geçen zaman miktarım ölçmelidirler. Başka türlü nasıl olabilir? Her saat diğerleriyle aynıdır ve ortalama olarak, hemen hemen aynı fiziksel şartların etkisi altındadır. Bu, gene simetrinin şaşırtıcı gücünü gösterir. Herhangi bir hesaplama veya ayrıntılı bir çözümleme olmaksızın, fiziksel ortamın birörnekliğinin, mikrodalga fon ışınımının birörnekliği ve galaksilerin uzaydaki birörnek dağılımının doğruladığı gibi, zamanın birörnekliği sonucunu çıkarmamıza olanak sağladığını anlarız.

Her ne kadar buradaki düşünüş mantığı basit de olsa, sonuç kafa karıştırıcı olabilir. Uzay genişledikçe galaksiler de birbirlerinden uzaklaştıkları için, bu galaksilerle birlikte hareket eden saatler de birbirlerinden uzaklaşır. Üstelik birbirlerinden, aralarındaki çok farklı uzaklıklarca belirlenen çok farklı hızlarla uzaklaşırlar. Bu hareket, Einstein'ın özel göreliliğinin bize öğrettiği gibi, saatleri artık eşzamanlı olmaktan çıkarmaz mı? Birçok nedenden dolayı bu sorunun cevabı hayırdır; bu konuda düşünmenin ayrıntılı ve yararlı bir yolu şöyledir.

Şekil 8.3 Hareketleri ortalama olarak yalnızca uzayın genişlemesinden kaynaklanan galaksilerle birlikle hareket eden saatler evrensel kozmik zaman ayarı oluştururlar. Birbirlerinden ayrıl s al ar bile, uzayda değil, uzayla birlikte hareket ettikleri için, eşzamanlı olarak kalırlar.

Bölüm 3'ten, Einstein'ın uzayda değişik şekillerde hareket eden saatlerin değişik hızlarda çalıştıklarını keşfettiğini öğrenmiştik (çünkü zamandaki hareketlerinin farklı miktarlarını uzaydaki hareketlerine aktarırlar; Bart'ın kaykayında önce kuzeye gittiği, daha sonra hareketinin bir bölümünü

doğuya aktardığı örneği hatırlayın). Ama şimdi söz konusu olan saatler, uzayda hiç hareket etmezler. Tıpkı her paranın balon üzerinde bir noktaya yapıştırılması ve balonun şişmesiyle yalnızca diğer paralardan uzaklaşması gibi, her galaksi de uzayda belirli bir yer kaplar ve çoğunlukla uzayın şişmesi nedeniyle yalnızca diğer galaksilerden uzaklaşır. Bu da, uzayın kendisine göre, bütün saatlerin aslında durağan olduğu ve aynı hızda çalışacakları anlamına gelir. Evrenin yaşını ölçmekte kullanılacak olan eşzamanlı kozmik saatler, hareketleri yalnızca uzayın genişlemesinden kaynaklanan bu saatlerdir.



Şekil 8.4 (a) Sonsuz düz bir yüzey üzerinde herhangi bir paradan bakıldığında görülen manzara, diğerinden görülenlerle aynıdır, (b) Şekli 8.4a'daki paralar birbirinden ne kadar uzaksa, yüzey genişledikçe aralarındaki uzaklıklar da o kadar artar.

Elbette, dikkat ederseniz, saatinizi yanınıza alıp bir rokete binerek uzayda olağanüstü hızlara ulaşabilir, uzayın genişlemesinden gelen kozmik akıştan çok daha büyük hızlarla hareket edebilirsiniz. Eğer bunu yaparsanız, sizin saatiniz farklı bir hızla işleyecek ve Büyük Patlama'dan beri farklı bir zaman geçtiğini bulacaksınız. Bu, son derece gerçekçi bir bakış açısıdır ama tümüyle bireycidir: Ölçülmekte olan zaman, özel olarak nerede bulunduğunuzun geçmişine ve hareket durumunuza bağlıdır. Astronomlar evrenin geçmişinden söz ettikleri zamansa evrensel bir şey, her yerde aynı anlama sahip olan bir şey ararlar. Uzaydaki değişimin birörnekliği, bunu yapmanın bir yolunu gösterir.

Aslında, mikrodalga fon ışınımının birörnekliği, uzayın kozmik akışı ile birlikte hareket edip etmediğinizi sınayan, elde hazır olan bir test ortaya

koyar. Gördüğünüz gibi, her ne kadar mikrodalga fon ışınımı uzayda türdeş ise de, uzayın genişlemesinin getirdiği kozmik akışın ötesinde ek bir hareket yaparsanız, ışınımın türdeş olduğunu gözlemezsiniz. Nasıl bir arabanın kornasının sesi yaklaşmakta iken normalden ince, uzaklaşmakta iken ise normalden daha kalın duyulursa, bir roketle uzayda hareket ettiğinizde de roketin ön tarafına doğru gelen mikrodalgaların tepe ve çukurları, roketin arka tarafına gelenlere göre daha yüksek frekanslarda çarparlar. Mikrodalgalarda daha yüksek frekans, daha yüksek sıcaklık demektir, bu yüzden, gittiğiniz doğrultudaki ışınımın arkanızdan gelmekte olan ışınımdan biraz daha yüksek sıcaklıkta olduğunu bulursunuz. Burada, Dünya adlı "uzay gemisinde" de astronomlar, uzayın bir yönündeki mikrodalgaların sıcaklığını, ters yöndekilerden biraz daha yüksek olarak ölçüyorlar. Bunun nedeni yalnızca Dünya'nın Güneş çevresinde, Güneş inse galaksi merkezi çevresindeki hareketi değil, bütün Samanyolu galaksisinin de kozmik genişlemenin üzerinde küçük bir hızla Hydra takımyıldızına doğru hareket ediyor olmasıdır. Ancak astronomlar bu göreceli olarak küçük hareketlerin etkilerini yok edecek düzeltmeleri yaptıktan sonra algıladığımız mikrodalgalar, gökyüzünün bir bölümüyle diğeri arasındaki ışınım sıcaklığının birörnekliğini sergilerler. İşte bütün evreni tarif ederken anlamlı bir şekilde zamandan söz edebilmemize olanak veren, bir konum ve diğeri arasındaki bu birörneklik, bu bütünsel simetridir.

Genişleyen Evrenin Kolayca Fark Edilmeyen Özellikleri

Kozmik genişleme konusundaki açıklamalarımızın birkaç ince noktası üzerinde durmaya değer. Birincisi, çevremizdeki uzaya baktığımızda gördüğümüz uzay üç boyutlu iken, balon benzetmesinde herhangi bir rol oynayan tek şeyin yalnızca balonun yüzeyi, yalnızca iki boyutlu bir yüzey (her nokta Dünya yüzeyindeki enlem ve boylamlara benzeyen iki rakamla belirlenebilir) olduğunu hatırlayın. Gerçek, üç boyutlu öyküdeki temel kavramları korumakla birlikte göz önünde canlandırmak çok daha kolay olduğu için daha düşük boyutlu olan bu modeli kullanıyoruz. Bunu akılda tutmak önemlidir, özellikle de balon modelinde özel bir noktanın bulunduğunu, bunun da balonun şişerken bütün yüzeyinin uzaklaştığı iç hacminin orta noktasının olduğunu söyleme eğilimindeyseniz. Bu gözlem doğru olsa da, balonun yüzeyinde olmayan bir noktanın hiçbir rolü

olamayacağından, bu benzetmede anlamsızdır. Balonun yüzeyi bütün uzayı temsil eder; balonun yüzeyinde olmayan noktalar yalnızca benzetmenin ilgisiz yan ürünleri olup evrende herhangi bir yere karşılık gelmezler.

İkincisi, eğer daha uzaklardaki galaksilerin uzaklaşma hızları da daha büyükse, bu, yeterince uzak olan galaksilerin bizden ışık hızından daha büyük hızlarla uzaklaşıyor olacakları anlamına gelmiyor mu? Cevap, çok net bir evettir. Ama özel görelilikle bir çelişki yoktur. Neden? Çünkü bu, kozmik akış nedeniyle birbirlerinden uzaklaşan saatlerin eşzamanlı olarak kalmalarıyla yakından ilişkilidir. Bölüm 3'te vurguladığımız gibi, Einstein, uzayda hiçbir şeyin ışıktan daha hızlı hareket edemeyeceğini gösterdi. Ama galaksiler ortalama olarak uzayda hemen hemen hiç hareket etmezler. Galaksilerin hareketi neredeyse tümüyle uzayın kendisinin gerilmesi yüzündendir. Einstein'ın kuramı, uzaydaki iki noktanın -iki galaksinin- birbirlerinden ışık hızından büyük hızlarla uzaklaşacakları şekilde gerilmesini yasaklamaz. Einstein'ın sonuçları, uzayın genişleme hızı çıkarıldıktan sonraki hızlara, uzayın genişlemesinden kaynaklanan hızların ötesindeki hızlara sınırlama getirir. Gözlemler, birbirlerinden uzayın şişmesi nedeniyle uzaklaşan galaksilerin hızları ışık hızını geçebilecek olsa da, kozmik akışla hareket eden tipik galaksiler için böylesi fazladan hareketlerin, özel göreliliğe tam olarak uyan bir şekilde, en alt düzeyde olduğunu doğruluyorlar.

Üçüncüsü, eğer uzay genişliyorsa, bu galaksilerin birbirlerinden uzaklaşmalarının yanısıra, her galaksinin içinde şişen uzayın galaksinin içindeki yıldızları birbirlerinden uzaklaştıracağı; her yıldızın ve her gezegenin içinde şişen uzayın, sizin, benim ve her şeyin içinde şişen uzayın atomları birbirlerinden uzaklaştıracakları; atomların içinde şişen uzayın atom altı parçacıkları da birbirlerinden uzaklaştıracakları anlamına gelmez mi? Kısaca, şişen uzay metre çubuklarımız da aralarında olmak üzere her şeyin boyut olarak büyümesine neden olarak, genişlemenin gerçekten olduğunu fark etmemizi olanaksız hale getirmez mi? Cevap: Hayır. Balon ve para modelini yeniden düşünün. Balonun yüzeyi şişerken bütün paralar birbirinden uzaklaşır ama paraların kendileri genişlemez. Elbette eğer galaksileri balon yüzeyine siyah daireler çizmek yoluyla göstermiş olsaydık, balon boyut olarak büyüdüğünde küçük daireler de büyürlerdi. Ama gerçekte neyin olup bittiğini siyah daireler değil, paralar gösterir. Paraların boyutu sabit kalır çünkü içlerinde-ki çinko ve bakır atomlarını bir

arada tutan kuvvetler üzerine tutkalla yapıştırıldıkları balonun genişlerken uyguladığı dışarı doğru çekmeden çok daha güçlüdür. Benzer biçimde atomları bir arada tutan nükleer kuvvetler, kemiklerinizi ve derinizi bir arada tutan elektromanyetik kuvvetler, yıldız ve galaksileri bütün halde ve galaksilerde bir arada tutan kuvvetler, uzayın dışarı doğru şişmesinden daha kuvvetli olduğu için bu nesnelerden hiçbiri genişlemez. Yalnızca en büyük ölçeklerde, tek tek galaksilerden çok daha büyük ölçeklerde uzayın genişlemesi hemen hemen hiç dirençle karşılaşmaz (aralarındaki büyük uzaklıklar yüzünden birbirinden uzakta bulunan galaksiler arasındaki kütleçekimi kuvvetleri göreli olarak küçüktür) ve bu nedenle, böyle süper-galaksilerarası ölçeklerde uzayın şişmesi gökcisimlerini birbirinden uzaklaştırır.

Kozmoloji, Simetri ve Uzayın Şekli

Eğer birisi sizi bir gece yarısı derin uykunuzdan uyandırıp da evrenin şeklini -uzayın tam şeklini- kendisine anlatmanızı istese, cevap vermekte zorlanırdınız. Uyku sersemiyken bile Einstein'ın uzayın bir çeşit oyun hamuruna benzediğini gösterdiğini ve bu yüzden, ilke olarak herhangi bir şekli alabilecek olduğunu bilirdiniz. Bu durumda size bu soruyu soran kişiyi nasıl cevaplardınız? Biz, uzayda yüz milyarlarca benzeri bulunan bir galaksinin dış bölgelerinde, ortalama büyüklükte bir yıldızın çevresinde dolanan küçük bir gezegenin üzerinde yaşıyoruz, bu durumda bütün evrenin şekli hakkında herhangi bir şey bilmeniz nasıl beklenebilir? Uyku sersemliği geçmeye başlayınca yavaş yavaş bir kere daha simetrinin gücünün yardımınıza koştuğunu fark ederdiniz.

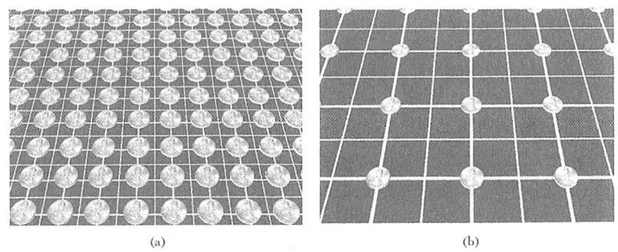
Eğer bilim insanlarının, büyük ölçekli ortalamalarda evrendeki bütün konumların ve bütün yönlerin simetrik olarak birbirleriyle bağlantılı olduğu yolundaki yaygın inancını göz önüne alırsanız, soruşturmacınızın size sorduğu soruyu cevaplamaya yakınsınız demektir. Bunun sebebi, bütün şekillerin bazı bölgeleri diğer bölgelerinden esaslı bir biçimde farklı oldukları için, hemen hemen hiçbir şeklin bu simetri ölçütünü karşılaştırılmamasıdır. Armudun alt tarafı üste göre daha şişkindir; yumurtanın orta tarafları daha yassı, uçları daha sivridir. Bu şekiller bir dereceye kadar simetri gösterse de tam anlamıyla simetrik olmaktan uzaktır.

Böyle şekilleri dışarıda bırakarak ve kendinizi yalnızca her bölgenin ve yönün diğerleriyle aynı olduğu şekillerle sınırlayarak olasılıkları son derece daraltabilirsiniz.

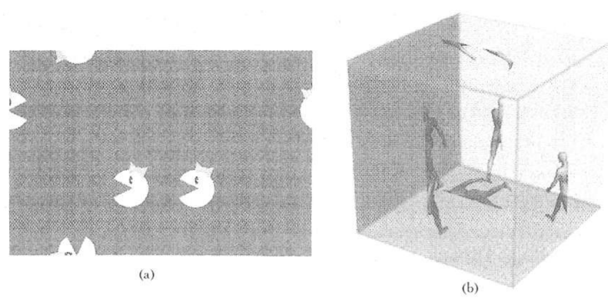
Ölçütü karşılayan bir şekille zaten karşılaşmıştık. Balonun küresel yüzeyi, şişen yüzeydeki paralar arasında simetriyi sağlayan en temel şekildi ve bu yüzden bu şeklin üç-küre adı verilen bir çeşitlemesi, uzayın şeklini temsil edebilecek olan adaylardan biridir. Ama bu da tam bir simetri gösteren tek şekil değildir. Daha kolay göz önüne getirilebilen iki-boyutlu modellerle düşünmeyi sürdürerek, üzerine eşit aralıklarla metal paralar yapıştırılmış olan sonsuz genişlikte ve sonsuz_ uzunlukta olan, dümdüz bir lastik çarşafı düşünün. Bütün çarşaf genişlerken, tam bir uzaysal simetri ve Hubble'ın keşfiyle tam bir tutarlılık sergiler: Şekil 8.4'te görüldüğü gibi her para, diğerlerinin kendisinden, uzaklıklarıyla orantılı bir hızla uzaklaştıklarını görür. Bu nedenle, bunun üç-boyutlu bir çeşitlemesi, yani içine galaksilerin serpiştirildiği, saydam lastikten yapılmış sonsuz genişleyen bir küp, uzayın şekli için bir başka olasılıktır. (Eğer mutfakla ilintili benzetmelerden hoşlanıyorsanız, daha önce söz ettiğimiz sonsuz büyüklükteki bir üzümlü kek hamuru düşünebilirsiniz, hamur küp biçiminde olabilir ama sonsuz büyüklüktedir. Burada üzümler galaksi rolündedir. Pişen kek kabarır ve üzümler gittikçe birbirlerinden uzaklaşırlar.) Bu şekle düz uzay adı verilir çünkü küresel örnekte olduğu gibi eğriliği yoktur (buradaki "düzgün anlamı matematikçilerin ve fizikçilerin kullandığı gibidir, benzetme olarak "gözleme şekli" ile pek ilgisi yoktur.)

Hem küresel, hem de sonsuz düz şekillerin arasında ortak olan hoş nokta, her ikisinde de sonsuza kadar yürümeniz durumunda bile bir kenara ya da sınıra ulaşamamanızdır. Bu, dikenli birtakım sorulardan kaçınmanıza olanak sağlaması açısından çekicidir: Uzayın kenarının ötesinde ne var? Uzayın sınırında yürürseniz ne olur? Eğer uzayın kenarı veya sınırı yoksa sorunun da anlamı yoktur. Ama dikkat ederseniz, iki şekil bu çekici özelliği farklı yollarla gerçekleştiriyor. Eğer küresel olarak şekillendirilmiş uzayda dosdoğru yürürseniz, tıpkı Magellan gibi, hiçbir kenarla karşılaşmadan er geç başladığınız noktaya dönersiniz. Tersine, eğer sonsuz düz uzayda dosdoğru yürürseniz, tıpkı Energizer Bunny gibi hiçbir kenara ulaşmazsınız amil bu kez başladığınız noktaya da hiçbir zaman dönmezsiniz. Bu, eğri ve düz şekillerin geometrileri arasında temel bir farkmış gibi görünüyorsa da,

bu anlamda düz uzayın küreye şaşırtıcı derecede benzeyen, basit bir çeşitlemesi vardır.



Şekil 8.4 (a) Sonsuz düz bir yüzey üzerinde herhangi bir paradan bakıldığında görülen manzara, diğerinden görülenlerle aynıdır, (b) Şekli 8.4a'daki paralar birbirinden ne kadar uzaksa, yüzey genişledikçe aralarındaki uzaklıklar da o kadar artar.



Şekil 8.5 (a) Bir video oyunu ekranı düzdür ("eğri olmama" anlamında) ve boyutu sınırlıdır, ama "kapandığı" için, bir kenarı veya sınırı yoktur. Matematiksel olarak böyle şekillere iki-boyutlu torus adı verilir, (b) Üç-boyutlu torus adı verilen, aynı şeklin üç boyutlu çeşitlemesi de düzdür (eğri olmama anlamında), sınırlı hacme sahiptir ama kapandığı için bir kenarı ya da sınırı yoktur. Eğer bir yüzün içinden geçerseniz, diğer yüzden içeri girersiniz.

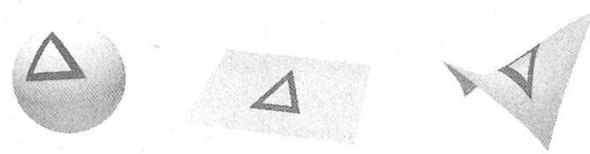
Bunu göz önünde canlandırmak için, ekranın kenarları varmış gibi gözüken ama kenardan aşağı düşemeyeceğiniz için gerçekte kenarları olmayan video oyunlarından birini düşünün: Eğer sağdan kaybolursanız soldan ortaya çıkarsınız; yukarıdan kaybolursanız aşağıdan ortaya çıkarsınız. Ekran, aşağıyla yukarıyı, sağla solu birleştirerek "kapanır"; bu durumda şekil düzdür (eğri değil) ve sınırlı boyutludur ama kenarı yoktur. Matematiksel olarak iki-boyutlu torus adı verilen bu biçim, Şekil 8.5a'da gösterilmiştir. Bu şeklin üç-boyutlu çeşitlemesi -üç boyutlu torus- uzayın yapısı için olası bir başka şekil ortaya koyar. Bu şekli her üç eksen

çevresinde kapanan dev bir küp olarak düşüne-bilirsiniz: Şekil 8.5b'de görüldüğü gibi, üstte yürürken altta ortaya çıkarsınız, arkaya doğru yürürken önde, sola doğru yürürken sağda ortaya çıkarsınız. Böyle bir şekil düzdür -eğri olmama anlamında, yassı olma anlamında değil- her yönde sonludur ama gene de kenarları veya sınırları yoktur.

Bu olasılıkların ötesinde, Hubble'ın uzayın simetrik şişmesi açıklamasıyla tutarlı bir başka şekil daha vardır. Bunu üç boyutta gözde canlandırmak her ne kadar biraz daha zor ise de, küresel örnekte olduğu gibi, iyi bir iki boyutlu benzeri vardır: Pringle's patates cipsinin sonsuz boyutlu şekli. Genelde eyer adı verilen bu şekil, bir tür ters küredir: Küre, dışarı doğru simetrik olarak genişlerken, eyer, Şekil 8.6'da görüldüğü gibi, simetrik olarak içeri doğru çökmüştür. Biraz matematiksel dil kullanırsak, kürenin pozitif eğriliğe sahip (dışarı doğru şişer), eyerinse negatif eğriliğe sahip (içeri doğru büzülür), düz uzayınsa -sonsuz veya sonlu olsun- eğriliğe sahip olmadığını (şişmez ve büzülmez) söyleriz."

Araştırmacılar bu listenin -birörnek pozitif, negatif veya sıfır- uzaydaki bütün konumlar ve bütün yönler arasında simetri bulunması gerekliliği ile tutarlı, olası eğriliklerinin tamamını oluşturduğunu kanıtlamışlardır. Bu gerçekten hayret vericidir. Sonsuz olasılıkların bulunabileceği bir şey hakkında, bütün evrenin şekli hakkında konuşuyoruz. Ama simetrinin büyük gücünü kullanan araştırmacılar, olasılıkları en aza indirebilmişlerdir. Bu yüzden, eğer cevabınıza simetrinin kılavuzluk etmesine izin verirseniz ve eğer gecenin ilerlemiş saatlerinde sizi sorguya çeken kişi bazı tahminlerde bulunmanıza olanak sağlarsa, bu soruyu doğru bir şekilde cevaplayabilirsiniz.

Tıpkı bir video oyunu ekranının kenarları veya sınırları olmayan düz uzayın sonlu- boyutlu bir örneğini oluşturması gibi, eyer şeklinin de kenarları veya sınırları olmayan, sonlu-boyutlu çeşitlemeleri vardır. Bunu daha fazla açmayacağım ama her üç tür eğriliğin de (pozitif, negatif veya sıfır) kenarları veya sınırları olmayan sonlu-boyutlu şekillerle gerçekleştirilebileceğine dikkatinizi çekmek isterim. (O zaman, ilke olarak, Magellan, yapmış olduğu yolculuğun uzaydaki bir benzerini, eğriliği bu olasılıkların herhangi biri ile verilmiş olan bir evrende yapabilirdi.)



Şekil 8.6 Uzay için iki boyutlu benzetmeler kullanırsak, tam anlamıyla simetrik olan -yani bir yerden görülen manzaranın diğer yerlerde görülenlerle aynı olduğu- üç tür eğrilik vardır. Bunlar (a) kürede olduğu gibi, dışarı doğru birörnek şişen pozitif eğrilik; (b) sonsuz bir düzlem veya sonlu video oyunu ekranındaki gibi, hiç şişmeyen sıfır eğrilik; (c) eyer şeklinde olduğu gibi, içeri doğru birörnek büzülen negatif eğrilik.

Buna rağmen, neden uzayın yapısının olası şekillerinin çeşitlemeleriyle uğraştığımızı merak ediyor olabilirsiniz. Tek bir evrende yaşıyoruz, o zaman neden tek bir şekil belirleyemiyoruz?

Listesini yaptığımız şekiller, evrende bulundukları yerden bağımsız olarak her gözlemcinin, en büyük ölçeklerde aynı evreni görmeleri gerektiği yolundaki inancımızla tutarlı olanlardır. Ama böylesi simetri görüşleri, yüksek oranda seçici olsa da, sonuna kadar giderek tek bir cevabı bulabilmemiz için yeterli olmazlar. Bunun için Einstein'ın genel görelilik denklemlerine ihtiyaç duyarız.

Einstein'ın denklemleri, girdi olarak evrendeki madde ve enerji miktarını alır (simetri görüşleri uyarınca birörnek dağıldığı varsayılmıştır) ve çıktı olarak uzayın eğriliğini verirler. Buradaki güçlük, astronomların on yıllar boyunca, gerçekte ne kadar madde ve enerji bulunduğu konusunda bir fikir birliğine ulaşamamış olmalarıdır. Eğer evrendeki bütün madde ve enerji uzaya birörnek dağıtılmış olsa ve eğer bu yapıldıktan sonra madde yoğunluğunun kritik yoğunluk olarak adlandırılan, metreküpte 0,00000000000000000000001 (10-23) gramdan -her metreküpte yaklaşık beş hidrojen atomu- daha fazla madde bulunduğu anlaşılmış olsa ' Einstein'ın denklemleri uzayın eğriliğinin pozitif olduğu sonucunu verir; eğer maddenin yoğunluğu kritik yoğunluktan azsa, denklemler negatif eğrilik verir; eğer yoğunluk tam olarak kritik yoğunluğa eşitse, o zaman denklemler uzayın eğriliğinin sıfır olduğu sonucunu verir. Her ne kadar bu gözlemsel konu henüz tam olarak çözülmemiş olsa da, en rafine veriler uzay için sıfır eğriliği, düz uzayı işaret ediyor. Ama Energizer Bünyenin aynı yönde sonsuza kadar hareket ederse karanlıkta kayıp mı olacağı, yoksa

bir çember çizerek sizi arkadan mı yakalayacağı -uzayın sonsuza kadar devam mı ettiği yoksa bir video ekranı gibi kapanmakta mı olduğu- sorusu tam olarak cevapsızdır.

Günümüzde evrende madde ışınımdan daha bol olduğu için, kritik yoğunluğu maddeyle daha çok ilişkili olarak metreküpte gram olarak vermek daha uygundur. Metreküpte 10-23 gram kulağa çok gibi gelmiyorsa da, evrendeki metreküp sayısı çok fazladır. Üstelik zamanda geriye doğru baktığınızda, kütle/enerjinin sıkışmış olduğu uzay daha küçük olacağından evrenin yoğunluğu daha büyük olur.

Böyle olsa bile, kozmik yapı konusunda nihai cevap olmadan bile, son derece açık olan şey, simetrinin, bir bütün olarak evrene uygulandığında uzayı ve zamanı kavramamıza olanak veren temel düşünce olduğudur. Simetrinin gücü olmasaydı daha işin başında takılırdık.

Kozmoloji ve Uzay-Zaman

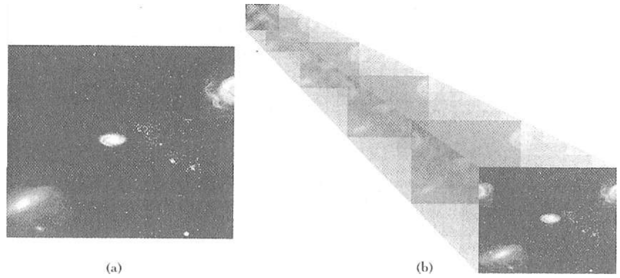
Artık kozmik geçmişi, genişleyen uzay kavramıyla Bölüm 3'teki uzay-zamanın ekmek somunu tanımını birleştirerek açıklayabiliriz. Hatırlayın, ekmek somunu tanımında her dilim -her ne kadar iki boyutlu da olsa- üç boyutlu uzayı, zamanın tek bir anında, belirli bir gözlemcinin bakış açısından göründüğü şekliyle temsil ediyordu. Farklı gözlemciler somunu göreli hareketlerinin ayrıntılarıyla belirlenen farklı açılarla dilimliyorlardı. Dahil önce karşılaştığımız örneklerde, uzayın genişlemesini dikkate almamış, evrenin yapısının zamanla sabit ve değişmez olduğunu varsaymıştık. Şimdi, kozmik evrimi de işin içine katarak o örnekleri daha rafine hale getirebiliriz.

Bunu yapmak için, uzaya göre durağan durumda olan gözlemcilerin -yani, tıpkı balona yapıştırılmış olan paralar gibi, hareketleri yalnızca kozmik genişlemeden kaynaklanan-gözlemcilerin perspektifini kullanacağız. Birbirlerine göre hareket ediyor olsalar bile, böyle bütün gözlemcilerin arasında simetri vardır -saatleri uyuşur- ve bu yüzden uzay-zaman somununu tam olarak aynı şekilde dilimlerler. Yalnızca uzayın genişlemesinden kaynaklanan hareketin dışında kalan göreli hareket, bu gözlemcilerin saatlerinin farklı hızlarda çalışmasına neden olur ve bunların

uzay-zaman somununu farklı açılarda dilimlemeleriyle sonuçlanır. Aynı zamanda uzayın şeklini de belirlememiz gerekir, bu nedenle, karşılaştırma amacıyla yukarıda incelenen olasılıklardan bazılarını göz önüne alacağız.

En kolay çizilebilecek örnek, düz ve sonlu bir şekil olan video oyunu şeklidir. Şekil 8.7a'da böyle bir evrende bir dilimi, yani şu anda bütün uzayı temsil ettiğini düşünebileceğiniz şematik bir görüntü görüyorsunuz. Basit olsun diye, bizim galaksimizin, Samanyolu'nun şeklin ortasında bulunduğunu düşünelim. Hiçbir konumun ne olursa olsun diğerlerinden hiçbir şekilde farklı olmadığını aklınızdan çıkarmayın. Kenarlar bile yanılsamadır. Üst taraf uzayın bittiği bir yer değildir, çünkü üst taraftan kaybolduğunuzda alt tarafta yeniden ortaya çıkarsınız; benzer şekilde, sol taraftan kaybolunca sağ taraftan yeniden ortaya çıktığınız için sol taraf da uzayın bittiği bir yer değildir. Astronomi gözlemleriyle uzlaştırmak için, her kenar ekranın ortasından itibaren en azından 14 milyar yıl uzunluğunda olmalıdır ama her biri çok daha uzun olabilir.

Dikkat ederseniz biz yıldızları ve galaksileri bu şimdi diliminde çizildikleri gibi göremeyiz, çünkü Bölüm 5'te tartışıldığı gibi, herhangi bir cisimden şimdi yayılan ışığın bize ulaşması zaman alır. Havanın açık olduğu, karanlık bir gecede gökyüzüne baktığınızda gördüğünüz ışıklar çok önce -milyonlarca ve hatta milyarlarca yıl önce- yayılmaya başlamışlar ve ancak şimdi Dünyaya doğru olan uzun yolculuklarını tamamlamış, teleskobumuza girmiş ve uzayın derinliklerinin görkemli görünümüne tanıklık etmemizi sağlamaktadırlar. Uzay genişlediği için, çok uzun zaman önce, bu ışıklar yayılmaya başladığında evren çok daha küçüktü. Bunu, somunun sağ tarafına şu andaki şimdi dilimimizi, sola doğru ise zamanın daha önceki anlarındaki evrenimizi gösteren bir dilimler dizisi koyduğumuz Şekil 8.7b de gösterdik. Gördüğünüz gibi, evrenin giderek daha eski zamanlarına baktığımızda hem uzayın tam boyutu, hem de galaksiler arasındaki uzaklıklar azalır.

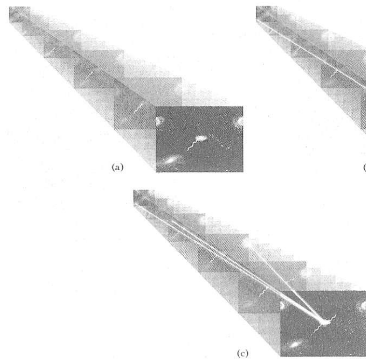


Şekil 8.7 (a) Uzayın düz ve sonlu boyutlu, yani bir video oyunu ekranı gibi şekillenmiş olduğu varsayıldığında uzayı şimdi betimleyen şematik görüntü. Sağ üstteki galaksinin solda yeniden göründüğüne dikkat edin. (b) Uzayın zamanda evrilmesini betimleyen şematik görüntü. Anlatımın açık olması için birkaç zaman dilimiyle yetinilmiştir. Zamanda geriye baktığımızda, uzayın tam boyutunun ve galaksiler arasındaki uzaklığın azaldığına dikkat edin.

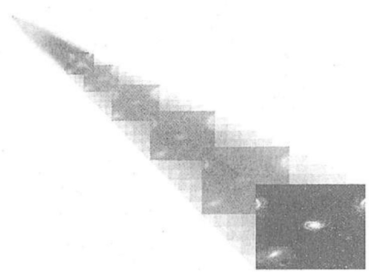
Şekil 8.8'de, belki de bir milyar yıl önce uzak bir galaksinin yaydığı, Samanyolu'nda bize doğru gelmekte olan ışığın geçmişini de görebilirsiniz. Şekil 8.8a daki başlangıç diliminde ışık yayılmaya başlıyor ve izleyen dilimlerde evren gittikçe genişliyor olsa bile, ışığın gittikçe yaklaştığını ve en sağdaki zaman diliminde de sonunda bize ulaştığını görebilirsiniz. Şekil 8.8b'de ışığın yolculuğu sırasında geçtiği her dilimdeki bu konumları birbirine bağlayarak, ışığın uzay-zamandaki yolunu gösterebiliriz. Birçok yönden ışık aldığımızdan, Şekil 8.8c'de çeşitli ışık ışınlarının şimdi bize ulaşmak için geçtikleri yolların örnekleri görülüyor.

Bu şekiller uzaydan gelen ışıkların dramatik bir biçimde, nasıl zaman kapsülü olarak kullanılabileceğini gösteriyor. Andromeda galaksisine baktığımızda, aldığımız ışık 3 milyon yıl kadar önce yayınlanmıştır, bu yüzden Andromedayı uzak geçmişte olduğu gibi görüyoruz. Coma kümesine baktığımız zaman aldığımız ışık 300 milyon yıl kadar önce yayınlanmıştır ve bu yüzden Coma kümesini çok daha eski bir dönemde olduğu gibi görüyoruz. Eğer şimdi Coma kümesinde bulunan bütün galaksilerdeki bütün yıldızlar süpernova olsalar, biz bu durumdan 300 milyon yıl boyunca haberdar olamayız; ancak bu kadar yıl sonra süpernovalardan yayılan ışık bize ulaşacak zaman bulabilir. Benzer biçimde Coma kümesinde bulunan ve bizim şu anki şimdi- dilimimizde yer alan bir astronom süper-güçlü bir teleskobu Dünyaya doğru çevirse, birçok eğreltiotu, eklembacaklı ve sürüngenlerin atalarını görecekti; Çin Seddini veya Eyfel Kulesini 300 milyon yıl boyunca göremeyecekti. Elbette temel kozmoloji konusunda çok iyi eğitim almış olan bu astronom, gördüklerinin

Dünya'nın uzak geçmiş olduğunu fark edecek ve kendi uzay-zaman somununda Dünya’nın ilk bakterilerini ait oldukları zaman dilimine yerleştirecekti.



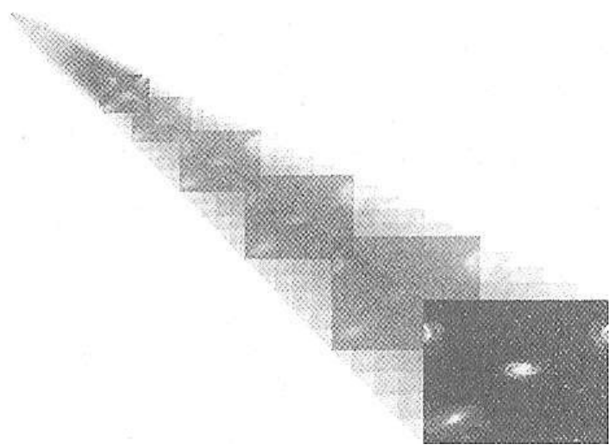
Şekil 8.8 (a) Çok uzun zaman önce uzak bir galaksiden yayınlanan ışık, sonraki zaman dilimlerinde gittikçe Samanyolu'na yaklaşıyor, (b) Sonunda uzak galaksiyi gördüğümüzde, bize ulaşan ışık çok önce yayımlandığı için, galaksiye hem uzay hem de zaman üzerinden bakıyoruz demektir. Işığın uzay-zamanda aldığı yol, parlatılmıştır, (c) Bugün gördüğümüz çeşitli uzay cisimlerinin yaydığı ışığın uzay-zamanda izledikleri yollar.



Şekil 8.9 Uzaysal genişlemeden kaynaklanan kozmik akışın ötesinde önemli miktarda hareket eden bir gözlemcinin zaman dilimi

Bunların tümünde hem bizim, hem de Coma kümesindeki astronomun yalnızca uzaysal genişlemeden kaynaklanan kozmik akış nedeniyle hareket ettiği varsayılır çünkü böylelikle, onun uzay-zaman somununu kesiş şeklinin bizimkiyle çakışmasını garantilenmiş olur; onun şimdi-listesinin bizimkiyle uyuşması garanti altına alınır. Bununla birlikte eğer astronomumuz kozmik akışın ötesinde uzayda büyük hızlarla hareket etmeye başlarsa, onun dilimleri Şekil 8.9'daki gibi, bizimkilerle bir açı yapacaktır. Bu durumda, Bölüm 5'teki Chewie'de bulduğumuz gibi, bu astronomun şimdisi bizim geçmiş veya gelecek olarak gördüğümüz zamanla

çakışacaktır (bu, ek hareketin bize doğru mu yoksa bizden uzağa doğru mu olduğuna bağlıdır). Ama dikkat ederseniz, onun dilimleri artık uzaysal olarak türdeş olmayacaktır. Şekil 8.9'daki her açılı dilim, evreni farklı zamanlarda keser ve bu yüzden bu dilimler birörnek olmaktan uzaktır. Bu, kozmik geçmişin tanımlanmasını oldukça karmaşık hale getirir ki, fizikçilerin ve astronomların genelde böylesi perspektiflere sıcak bakmamalarının nedeni budur. Onlar bunun yerine, genellikle yalnızca kozmik akış nedeniyle hareket eden gözlemcilerin perspektiflerini göz önüne alırlar, çünkü bu türdeş olan dilimlere yol açar, ama temelde, her bakış noktası, bir diğeri kadar geçerlidir.



Şekil 8.10 Düz ve sonlu boyutlu olan bir evrenin kozmik geçmişi; uzay-zaman "somunu". Tepedeki bulanıklık, evrenin başlangıç dönemindeki kavrayışımızın eksikliğini simgeliyor.

Kozmik uzay-zaman somununun daha soluna doğru bakarsak, evren daha küçülür ve daha yoğunlaşır. Nasıl bir bisiklet lastiğine hava basmayı sürdürdüğünüzde lastik gittikçe ısınırsa, uzayın büzülmesi sonucunda madde ve enerji daha fazla sıkıştırıldığı için evren git gide daha fazla ısınır. Eğer başlangıçtan saniyenin on milyonda biri kadar sonrasına gidebilseydik, evrenin yoğunluğu ve sıcaklığı öylesine yüksek olurdu ki, bildiğimiz madde doğanın en temel öğelerinden oluşan bir plazmaya dönüşürdü. Eğer yolculuğumuzu sıfır zamanının kendisine -Büyük Patlama anına- kadar sürdürebilseydik, bilinen bütün evren, bu cümlenin sonundaki noktanın yanında bir dev gibi kaldığı bir boyuta kadar sıkışırdı. Bu erken dönemlerdeki yoğunluklar öylesine yüksekti ve koşullar öylesine uç

değerlerdeydi ki, şu anda sahip olduğumuz en iyi fiziksel kuramlar bile ne olup bittiği konusunda bir fikir veremezdi. Gittikçe daha açık olarak görülecek nedenlerden ötürü yirminci yüzyılda geliştirilen ve çok başarılı olan fizik yasaları böyle uç koşullarda dağılır ve zamanın başlangıcını anlamak için yaptığımız yolculukta bizi dümen- siz bırakır. Yakında, son gelişmelerin umut verici bir deniz feneri gibi davrandığım ama şimdilik, başlangıçta ne olduğu konusundaki eksik kavrayışımızın, kozmik uzay-zaman somununun uzak sol tarafında bulanık bir bölge bırakmak -eski Dünya haritalarındaki bilinmeyen bölgelerin günümüzdeki türü- olduğunu itiraf ettiğimizi göreceğiz. Bu son dokunuşla, Şekil 8.10'da kozmik geçmişin genel bir resmini veriyoruz.

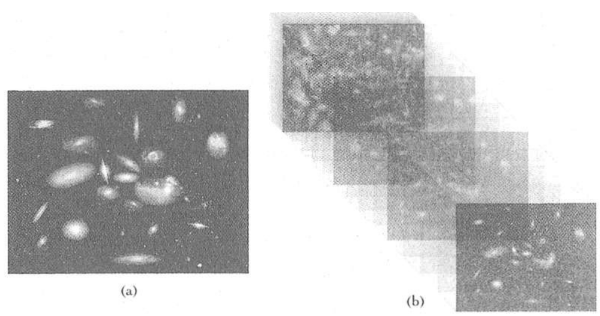
Değişik Şekiller

Şimdiye kadar uzayın bir video oyunu ekranı gibi şekillendiğini varsaydık ama bu öykü, diğer olasılıklar için de aynı özelliklerin çoğuna sahiptir. Örneğin eğer veriler sonunda uzayın şeklinin küresel olduğunu gösterirse, zamanda geriye gittikçe kürenin boyutu küçülür, evren gittikçe daha sıcak ve daha yoğun bir hale gelir ve sıfır anında bir tür Büyük Patlama başlangıcıyla karşılaşırız. Küreler birbirlerinin yanında düzgün bir biçimde sıralanamayacakları için (örneğin, her dilimin öncekini çevreleyen bir küre olduğu bir "küresel somun düşünebilirsiniz), Şekil 8.10'dakine benzeyen bir resim çizmek zordur amil grafik karmaşıklıkların ötesinde fizik büyük ölçüde aynıdır.

Sonlu düz uzayla sonsuz eyer şeklindeki uzayın ortak özellikleri olmakla birlikte bir temel özellik bakımından birbirlerinden ayrılırlar. Kesitlerin sonsuza kadar uzanan düz uzayı temsil ettiği Şekil 8.11’e bir göz atın (elbette bunların yalnızca bir bölümünü gösterebiliyoruz). Daha eski zamanlara baktıkça uzay büzülür; Şekil 8.11’b'de zamanda geriye baktıkça galaksiler gittikçe birbirlerine yaklaşır. Bununla birlikte uzayın tam boyutu aynı kalır. Neden? Sonsuz tuhaf bir şeydir. Eğer uzay sonsuzsa ve siz bütün uzaklıkları yarıya düşürürseniz, uzayın boyutu sonsuzun yarısı olur ki bu da hâlâ sonsuzdur. Bu yüzden, zamanda geriye doğru baktıkça, her şey birbirine yaklaşır ve yoğunluklar gittikçe yükselirse de, evrenin tam boyutu

sonsuz olarak kalır; her şey sonsuz uzaysal genişleme sonucunda her yerde yoğunlaşır. Bu da farklı bir Büyük Patlama görüntüsüne yol açar.

Normal olarak evrenin kabaca dış uzay ve zamanın olmadığı Şekil 8.10'daki gibi bir nokta olarak başladığını varsayarız. O zamanlar bir çeşit patlamayla uzay ve zaman, sıkıştırılmış biçimlerinden açılmaya başladılar ve genişleyen evren ortaya çıktı. Ama eğer evren, uzaysal olarak sonsuzsa, zaten Büyük Patlama anında sonsuz bir uzaysal genişleme vardı. Bu başlangıç anında enerji yoğunluğu patlarcasına arttı ve hiçbir şeyle karşılaştırılamayacak ölçüde yüksek sıcaklıklara ulaşıldı, ama bu uç koşullar yalnızca bir noktada değil, her yerde vardı. Bu durumda Büyük Patlama tek bir noktada oluşmadı, Büyük Patlama sonsuz uzaysal genişlikte her yerde birden oluştu. Bunu klasik, tek bir noktadaki başlangıç ile karşılaştırırsak, sanki uzaysal genişliğin her noktasında birçok Büyük Patlama olmuş gibidir. Büyük Patlama'dan sonra uzay şişmeye başladı ama tam boyutu büyümedi çünkü zaten sonsuz olan bir şey daha fazla büyüyemez. Şekil 8.1 LP’ye soldan sağa doğru baktığınızda göreceğiniz gibi, artan şey, (oluştuktan sonra) galaksi gibi cisimlerin arasındaki uzaklıklardı. Sizin ya da benim gibi bir galaksiden veya diğerinden bakan bir gözlemci, etraftaki galaksilerin, tıpkı Hubble'ın keşfettiği gibi uzaklaştığını görürdü.



Şekil 8.11 (a) Galaksilerin doldurduğu düz uzayın şematik gösterimi, (b) İlk dönemlerde uzay büzülür -bu yüzden ilk dönemlerde galaksiler birbirlerine daha yakındı- ama sonsuz uzayın tam boyutu sonsuz kalmaya devam eder. İlk dönemlerde ne olduğu konusundaki bilgisizliğimiz bulanık bölgeyle gösteriliyor ama burada bu bölge uzayın sonsuz genişliğince uzanıyor.

Sonsuz düz uzayın akademik olmanın ötesinde olduğunu aklınızdan çıkarmayın. Uzayın tam şeklinin eğri olmadığı konusunda çok miktarda kanıt bulunduğunu göreceğiz ve henüz düz uzayın video oyun ekranı

şeklinde olduğu yolunda bir kanıt bulunmadığı için, düz, sonsuz büyüklükteki uzaysal şekil, uzay- zamanın büyük ölçekli yapısının öncüsüdür.

Kozmoloji ve Simetri

Simetri düşünceleri modern kozmoloji kuramının gelişmesinde açıkça vazgeçilmez olmuştur. Zamanın anlamı, bir bütün olarak evrene uygulanabilirliği, uzayın tam şekli ve hatta altında yatan genel görelilik yapısı, hepsi de simetri üzerinde temellenir. Bu durumda bile, simetri düşüncelerinin evrilen evreni haberdar ettiği başka bir yol daha vardır. Tarihi boyunca evrenin sıcaklığı, Büyük Patlama'nın hemen ertesindeki vahşi sıcaklıklardan bugün uzayın derinliklerinde ölçebileceğiniz mutlak sıfırın birkaç derece üzerindeki çok düşük sıcaklıklara kadar devasa miktarlarda değişmiştir. Önümüzdeki bölümde açıklayacağım gibi, ısı ve simetrinin kritik karşılıklı bağımlılığı yüzünden, bugün görmekte olduğumuz şeyler, büyük olasılıkla evrenin ilk dönemlerini yapısal olarak kalıba dökmüş olan çok daha zengin bir simetrinin soğumuş kalıntısı olup, evrenin en temel ve en tanıdık özelliklerinden bazılarını belirlemiştir.

IX. Bölüm - Boşluğun Buharlaşması

Sıcaklık, Hiçlik ve Birleşme

Evrenin genel yapısı ile ilgilenen bir haberci, evren tarihinin yüzde doksan beşinden fazlası boyunca aşağı yukarı aynı haberi geçmeyi sürdürürdü: Evren genişlemeye devam ediyor. Madde genişleme nedeniyle yayılmayı sürdürüyor. Evrenin yoğunluğu hâlâ azalıyor. Sıcaklık düşmeye devam ediyor. Çok büyük ölçeklerde evren simetrik, türdeş görünümünü koruyor. Tüm evreni özetlemek her zaman bu kadar kolay olmamıştı. İlk aşamalar, telaşlı ve heyecanlı bir habercilik gerekli kılardı çünkü bu dönemde evren hızla değişiyordu. Biz şimdi biliyoruz ki, o zaman olup bitenler, bugün yaşadıklarımızda çok önemli roller oynamışlardır.

Bu bölümde, evrende somutlaşan simetrinin keskin bir biçimde değiştiğine inanılan ve her değişimin kozmik tarihe yeni bir bölüm eklediği, Büyük Patlama dan saniyenin bir kesri kadar sonraki kritik anlara odaklanacağız. Habercimiz artık aynı birkaç satırı rahat rahat, birkaç milyar yılda bir fakslıyor olsa da, simetrinin keskin bir biçimde değiştiği ilk anlarda işi çok daha zordu, çünkü maddenin temel yapısı ve onun davranışını yöneten kuvvetler tam anlamıyla yabancıydı. Bunun nedeni ısı ve simetri arasındaki karşılıklı etkileşime bağlı olup, boş uzay ve hiçlik kavramlarıyla ne demek istediğimizi yeni baştan düşünmemizi gerektirir. Göreceğimiz gibi, bu yeniden düşünme, evrenin ilk anları konusundaki kavrayışımızı zenginleştirmekle kalmaz, bizi, geçmişi Newton, Maxwell ve özellikle Einstein'a kadar giden bir rüyayı -birleştirme rüyasını- gerçekleştirmeye bir adım daha yaklaştırır. Bu gelişmelerin, en modern kozmolojik yapı olan ve en baskıcı soruların bazılarıyla birlikte karşılarında standart Büyük Patlama modelinin bile sessiz kaldığı en çapraşık bilmecelere cevap bulan şişme kozmolojisine sahneyi hazırlamış olması da aynı derecede önemlidir.

Isı ve Simetri

Bazı şeyler çok ısındıklarında veya soğuduklarında, zaman zaman değişirler. Bazen bu değişim o kadar belirgin olur ki, başlangıçtaki şeyleri sonradan tanıyamazsınız bile. Büyük Patlama dan hemen sonra ortaya çıkan kavurucu koşullar ve uzayın genişleyip soğumasıyla ortaya çıkan hızlı sıcaklık düşüşü nedeniyle, sıcaklık değişiminin nedenlerini anlamak, evrenin erken dönem tarihi ile uğraşmada hayati bir öneme sahiptir. Ama işe basit biçimde başlayalım. Buzdan başlayalım.

Eğer çok soğuk bir buz parçasını ısıtırsanız, başlangıçta çok fazla şey olmaz. Her ne kadar sıcaklığı yükselse de, görünümü hemen hemen aynı kalır. Ama sıcaklığını 0 derece Celsius'a kadar yükseltip ısıtmaya devam ederseniz, aniden dramatik bir şey olur. Katı buz ergimeye başlar ve sıvı suya dönüşür. Bu geçişin bilindik olması, olayın önemsiz olduğu anlamına gelmez. Daha önce buz ve suyla ilgili deneyimlerimiz olmasa, bunların arasındaki yakın ilişkiyi anlamak çok zor olurdu. Biri kaya gibi sert, diğeri ise akıcı bir sıvı. Basit bir gözlemle bunların her ikisinin de molekül yapısının aynı olduğu, H20 olduğu yolunda doğrudan bir kanıta ulaşılamaz. Eğer daha önceden hiç buz ve su görmemiş olsaydınız ve size her ikisinden de birer miktar verilseydi, başlangıçta büyük olasılıkla bunların birbirleri ile ilişkili olmadığını düşünürdünüz. Ama bunlardan biri 0 derece Celsius sınırını geçtiğinde, mucizevi bir simya sonucunda diğerine dönüştüğüne tanık olurdunuz.

Sıvı suyu ısıtmaya devam ederseniz, gene bir süre sıcaklığın yükselmesi dışında çok fazla bir şey olmadığını görürsünüz. Ama sonra, 100 derece Celsius'a ulaştığınızda, bir başka keskin değişim olur: Sıvı su kaynamaya ve buhara, gene sıvı suyla ve katı buzla bağlantısı pek açık olmayan sıcak bir gaza dönüşmeye başlar. Elbette bunların her üçünün de molekül bileşimi aynıdır. Katıdan sıvıya ve sıvıdan gaza olan değişimler faz geçişleri olarak bilinirler. Sıcaklıkları yeterince yüksek bir aralıkta değiştirilen çoğu madde, benzer değişimler gösterirler.

Simetri, faz geçişlerinde temel bir rol oynar. Hemen hemen her durumda, eğer bir şeyin faz geçişinden önceki ve sonraki simetri durumlarını uygun bir yöntemle karşılaştırsak, önemli bir değişiklik buluruz. Örneğin moleküler düzeyde buz, H_2O moleküllerinin düzenli, altıgen bir kafes üzerinde yer aldığı kristal bir yapıya sahiptir. Şekil 8.1 deki küpün simetrileri gibi, buz moleküllerinin tam deseni bazı özel değiştirmeler, örneğin altı yüzlü yapının özel eksenlerinin etrafındaki 60 derecelik dönmelerle değişmez olarak kalır. Tersine, buzu ısıttığımızda

kristal yapı ergiyerek, herhangi bir eksen etrafındaki bütün dönmeler sonucunda değişmez olarak kalan birörnek molekül yığınlarına -suya- dönüşür. Bu yüzden buz ısıtılarak ve katıdan sıvıya faz geçişi yapması sağlanarak daha simetrik hale getirilebilir. (Her ne kadar sezgisel olarak, örneğin buz gibi daha düzenli olan bir şeyin daha simetrik olduğunu düşünürsek de, bunun tam tersi doğrudur; herhangi bir şey eğer dönme gibi bir dönüşüme maruz kaldığında görünüşü aynı kalıyorsa daha simetriktir.)

Benzer şekilde, suyu ısıtarak buhara dönüştürdüğümüzde de faz geçişi gene simetri artışıyla sonuçlanır. Bir su yığıncığında H2O molekülleri ortalama olarak, bir molekülün hidrojen tarafı komşu molekülün hidrojen tarafına gelecek şekilde konumlanırlar. Bir yığındaki bir molekülü veya diğerini döndürürseniz, moleküler deseni gözle görünür şekilde bozarsınız. Ama su kaynayıp buhara dönüştüğünde moleküller şurada burada dolaşırlar; artık H2O moleküllerinin duruşlarında herhangi bir desen kalmaz ve böylece eğer bir molekülü veya molekül grubunu döndürürseniz, gazın görünümü aynı kalır. Bu yüzden, nasıl buzun suya dönüşmesi simetri artışıyla sonuçlanıyorsa, suyun buhara dönüşmesi de aynı şekilde simetride bir artışla sonuçlanır. Çoğu (ama tümü değil) madde, katıdan sıvıya ve sıvıdan gaza faz geçişlerinde simetri artışı sergileyerek benzer biçimde davranır.

Suyu veya herhangi başka bir maddeyi soğuttuğumuzda da öykü neredeyse aynıdır, yalnızca olaylar ters yönde gelişir. Örneğin, gaz biçimindeki buharı soğutursanız başlangıçta neredeyse hiçbir şey olmaz ama sıcaklık 100 derece Celsius'a düştüğünde buhar ansızın sıvı suya yoğunlaşmaya başlar; sıvı suyu soğuttuğunuzda 0 dereceye ulaşana kadar pek bir şey olmaz, bu anda ise aniden donarak katı buza dönüşmeye başlar. Simetrilerle ilgili olarak aynı düşünüş mantığını izleyerek -ama ters yönde- bu her iki faz geçişine de simetride bir azalmanın eşlik edeceği sonucuna varırız.

Buz, su, buhar ve bunların simetrileri hakkında sanırım bu kadarı yeter. Bütün bunların kozmolojiyle ne ilgisi var? 1970'lerde fizikçiler yalnızca evrenin içindeki cisimlerin değil, evrenin kendisinin de faz geçişleri sergileyebileceğini fark ettiler. Geçen 14 milyar yıl süresince, evren sürekli olarak genişledi ve basıncı düştü. Nasıl basıncı düşen bisiklet lastiği soğursa, genişleyen evrenin sıcaklığı da sürekli bir biçimde düştü. Sıcaklığın düştüğü bu sürenin çoğunda çok şey olmadı. Ama evren -su için 0 derece ve 100 derece Celsius'a karşılık gelen- özel kritik sıcaklıklardan

geçerken kökten değişikliklere maruz kaldı ve çok büyük bir simetri azalması yaşadı. Birçok fizikçi şu anda evrenin "çökelti" veya "donmuş" bir evresinde, önceki dönemlerden çok farklı bir evrede yaşadığımıza inanıyorlar. Her ne kadar, çok daha bilindik örneklerle birçok nitel benzerlikleri varsa da, kozmolojik faz geçişleri tam olarak bir gazın sıvıya yoğunlaşması veya bir sıvının katıya dönüşmesi şeklinde değildir. Evren soğuyarak özel sıcaklıklardan geçerken çökelekleşen veya donan "madde" bir alandır, daha doğrusu Higgs alanıdır. Bunun ne anlama geldiğini görelim.

Kuvvet, Madde ve Higgs Alanları

Modern fiziğin yapısının çoğunu alanlar oluşturur. Bölüm 3'te incelenen elektromanyetik alan, doğadaki alanlar arasında belki de en basiti ve değeri en çok anlaşılmış olandır. Radyo ve televizyon yayınları, hücresel telefon haberleşmeleri, güneşin sıcaklığı ve ışığı arasında yaşarken sürekli olarak elektromanyetik alanlar denizinde yıkanıyoruz. Fotonlar elektromanyetik alanların temel bileşenleridir ve elektromanyetik kuvvetin mikroskopik ileticileri olarak düşünülebilirler. Bir şey gördüğünüz zaman onu, gözünüze girerek retinanızı etkileyen bir elektromanyetik dalga alanı veya gene gözünüze girerek aynı şeyi yapan foton parçacıkları olarak düşünebilirsiniz. Bu nedenle, foton kimi zaman elektromanyetik kuvvetin haberci parçacığı olarak da bilinir.

Kütleçekimi alanını da yakından biliriz çünkü o bizi ve çevremizdeki her şeyi sürekli olarak yeryüzüne bağlar. Tıpkı elektromanyetik alanlarda olduğu gibi, hepimiz bir kütleçekimi alanları denizinde yüzüyoruz. Bu alanlar arasında Dünya'nınki başattır ama biz aynı zamanda Güneş'in, Ay'ın ve diğer gezegenlerin kütleçekimi alanlarını da hissediyoruz. Nasıl fotonlar elektromanyetik alanı oluşturan parçacıklarsa, fizikçiler gravitonların da kütleçekimi alanını oluşturan parçacıklar olduklarına inanıyorlar. Graviton parçacıkları henüz deneysel olarak keşfedilmedi ama bu şaşırtıcı değil. Kütleçekimi, kuvvetler arasında uzak ara en zayıf olanıdır (örneğin buzdolabına tutturulan sıradan bir mıknatıs bir toplu iğneyi çekerek bütün yerkürenin kütleçekimi alanını yenebilir) ve bu yüzden deneycilerin, kuvvetlerin en zayıfının en küçük bileşenini henüz bulamamış olması kolaylıkla anlaşılabilir. Deneysel doğrulama olmadan bile çoğu fizikçi, tıpkı fotonların elektromanyetik alanı ilettikleri gibi (bunlar elektromanyetik

kuvvetin haberci parçacıklarıdır) gravitonların da kütleçekimi alanını ilettiklerine inanırlar (bunlar da kütleçekimi kuvvetinin haberci parçacıklarıdır). Bir bardağı elinizden düşürürseniz, bu olayı kütleçekimi alanının bardağı çekmesi veya Einstein'ın çok daha rafine geometrik tanımını kullanarak, bardağın, uzay-zamanın yapısında Düny'nın varlığı tarafından oluşturulan olukta kayması olarak veya -eğer gravitonlar gerçekten varsa- graviton parçacıklarının bardakla Dünya arasında değiş-tokuş edilerek, bardağa Dünyaya doğru düşmesini "söyleyen" "mesajı" iletmeleri olarak düşünebilirsiniz.

Bu iyi bilinen kuvvet alanlarının ötesinde doğanın güçlü nükleer kuvvet ve zayıf nükleer kuvvet olarak bilinen iki kuvvet filanı daha vardır ve bunlar da etkilerini alanlar yoluyla iletirler. Nükleer kuvvetler yalnız atom ve atom-altı ölçeklerinde etkili oldukları için elektromanyetizma ve kütleçekimine göre daha az tanınırlar. Bu durumda bile, Güneş'in parlamasının nedeni olan nükleer füzyon, nükleer güç reaktörlerindeki nükleer parçalanma (fisyon) ve uranyum ve plütonyum gibi elementlerin radyoaktif bozunması düşünülecek olursa, bu kuvvetlerin gündelik hayatımızdaki etkileri hiçbir şekilde daha az önemli değildir. Güçlü ve zayıf nükleer kuvvet alanları, 1950'lerde bunların kuramsal yapıları üzerinde çalışan C. N. Yang ve Robert Mills'e atfen Yang-Mills alanları olarak bilinirler. Nasıl elektromanyetik alan fotonlardan oluşuyorsa ve kütleçekimi alanının gravitonlardan oluştuğuna inanılıyorsa, güçlü ve zayıf alanların da parçacık bileşenleri vardır. Güçlü kuvvetin parçacıkları gluon, zayıf kuvvetin parçacıkları ise W ve Z parçacıkları olarak bilinirler. Bu kuvvet parçacıklarının varlığı 1970'lerin sonu ve 1980'lerin başında Almanya ve İsviçre'de yürütülen hızlandırıcı deneyleriyle kanıtlanmıştır.

Alan yapısı maddeye de uygulanır. Kabaca ifade edersek, kuantum mekaniğinin olasılık dalgaları bir madde parçacığı veya diğerinin bir konumda veya diğerinde bulunma olasılığını veren ve uzayı kaplayan alanlar olarak düşünülebilirler. Örneğin, bir elektron, parçacık olarak -Şekil 4.4'te olduğu gibi fosfor ekranda nokta iz bırakan bir parçacık olarak- düşünülebilir ama aynı zamanda Şekil 4.3b'de olduğu gibi, fosfor ekrandaki girişim desenine katkıda bulunan, dalgalanan bir alan olarak da düşünülebilir (ve düşünülmelidir de).5 Aslında, her ne kadar burada daha fazla ayrıntıya girmeyeceksem de, bir elektronun olasılık dalgası, elektron alanı -pek çok bakımdan elektromanyetik alana benzeyen ama elektron alanının en küçük bileşeni olarak elektronun fotona benzer bir rol oynadığı

alan- ile yakından bağlantılıdır. Aynı alan tanımı madde parçacıklarının bütün diğer türlerine de uygulanır.

Artık hem madde alanlarını hem de kuvvet alanlarını incelediğimize göre, her şeyi kapsadığımızı düşünebilirsiniz. Ama şimdiye kadar anlatılan öykünün henüz tamamlanmış olmadığı konusunda genel bir fikir birliği vardır. Birçok fizikçi, deneysel olarak hiçbir zaman saptanamamış olan ama son yirmibeş-otuz yıldır hem modern kozmoloji düşüncesinde, hem de temel parçacık fiziğinde önemli roller oynayan, üçüncü tür bir alanın varlığına güçlü bir şekilde inanıyor. Bu akına İskoç fizikçi Peter Higgs'e atfen Higgs alanı adı verilir. Ve eğer önümüzdeki alt- bölümdeki düşünceler doğruysa, bütün evren, sizi, beni ve karşılaştığımız her şeyi oluşturan parçacıkların birçok özelliğinden sorumlu olan bir Higgs alanı okyanusu -Büyük Patlama'nın soğuk bir kalıntısı- içinde yüzmektedir.

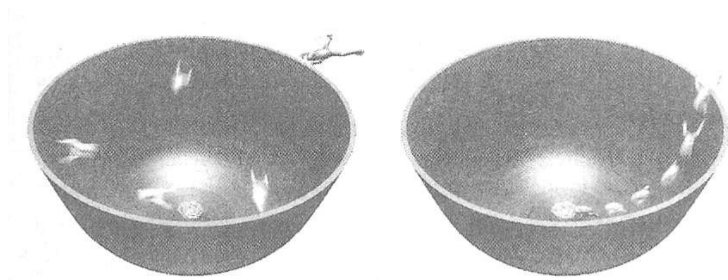
Soğuyan Bir Evrendeki Alanlar

Alanlar sıcaklığa, tıpkı sıradan maddenin verdiği gibi tepki verirler. Sıcaklık ne kadar artarsa, bir alanın değeri -tıpkı hızla kaynamakta olan bir kap suyun yüzeyi gibi- o kadar şiddetle dalgalanır. Günümüzde uzayın tipik sıcaklığı olan dondurucu soğukta (mutlak sıfırın üzerinde 2.7 derece veya genel olarak 2.7 Kelvin olarak gösterilir) ya da Dünya'mızdaki daha yüksek sıcaklıklarda alan dalgalanmaları veya salınımları çok küçüktür. Ama Büyük Patlama'nın hemen ertesinde sıcaklık öylesine yüksekti ki Büyük Patlama'dan 10-43 saniye sonra sıcaklığın 1032 Kelvin olduğu düşünülüyor- bütün alanlar son derece şiddetli bir biçimde salınıyordu.

Evren genişleyip soğudukça, başlangıçtaki devasa madde ve ışınım yoğunlukları sürekli olarak azalmaya, evrenin dev boyutlu boşlukları gittikçe daha boşalmaya ve alan salınımları gittikçe küçülmeye başladı. Pek çok alan için bunun anlamı, bu alanların ortalama değerlerinin sıfıra yaklaşmasıdır. Herhangi bir anda belirli bir alanın değeri sıfırın hafifçe üstüne çıkabilir (tepe) ve bir an sonra sıfırın biraz altına düşebilir (çukur) ama ortalama olarak çoğu alanın değeri sıfıra yakın kalır, ki biz sıfır değerini sezgisel olarak yokluk veya boşlukla özdeşleştiririz.

Higgs alanının işe karıştığı yer, işte burasıdır. Araştırmacılar Higgs alanının Büyük Patlama'dan hemen sonraki kavurucu sıcaklıklarda diğer

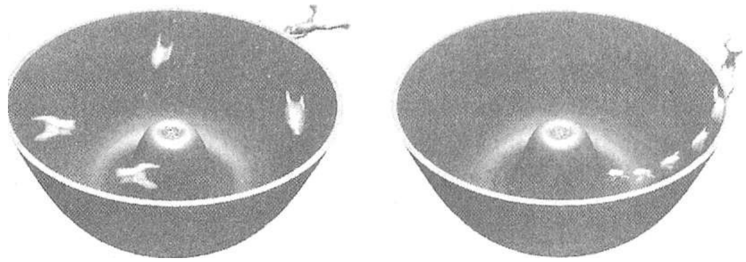
alanlara benzer özellikler gösteren, şiddetle aşağı-yukarı salınan bir tür alan olduğunu anladılar. Ama araştırmacılar, (nasıl sıcaklığı yeterince düştüğü zaman buhar, yoğunlaşarak sıvı suya dönüşüyorsa) evrenin sıcaklığı yeterince düştüğünde, Higgs alanının da bütün uzayda sıfırdan farklı değerine doğru çökeldiğine inanıyorlar. Fizikçiler buna sıfırdan farklı Higgs alanı boşluk beklenti değeri (yani Higgs çökeleği) oluşması adını verirler, ama teknik dili biraz rahatlatmak için ben buna Higgs okyanusunun oluşumu adını vereceğim.



Şekil 9.1 (a) Sıcak, metal bir kâseye bırakılan kurbağa, aralıksız bir şekilde sıçrar, (b) Kâse soğuduğu zaman kurbağa sakinleşir, daha az sıçrar ve kâsenin ortasına kayar.

Bu biraz Şekil 9.la'daki gibi, ortasında kurtçukların bulunduğu sıcak, küresel, metal bir kâseye düşen kurbağanın davranışına benzetilebilir. Başlangıçta kurbağa bacaklarını yanmaktan korumak için can havliyle şuraya buraya sıçrayarak ortalama olarak kâsenin ortasından ve kurtçuklardan uzak kalır, hatta onların orada olduklarının farkına bile varmaz. Ama kâse soğuyunca kurbağa sakinleşir, artık sıçramaz, kâsenin ortasına doğru kayar ve Şekil 9.1b'deki gibi, orada akşam yemeğini bulur.

Ama eğer kâse, Şekil 9.1c'deki gibi, farklı biçimde olsaydı, her şey daha farklı olurdu. Gene başlangıçta kâsenin çok sıcak olduğunu ve kurtçukların gene kâsenin ortasında, ama bu kez merkezdeki küçük bir tepenin üzerinde olduğunu varsayın. Kurbağayı içeri bıraktığınızda gene hızla oraya buraya sıçrar ve ortadaki tepede bulunan ödülünden habersiz kalır. Sonra, kâse soğuyunca, kurbağa sakinleşerek daha az sıçramaya başlar ve kâsenin düz kenarlarından aşağı kayar. Ama yeni biçim yüzünden, kurbağa hiçbir zaman kâsenin merkezine ulaşamaz. Kâsenin vadi bölümüne kayarak Şekil 9. 1d deki gibi kurtçuklardan uzak kalır.



Şekil 9.1 (c) Aynen (a)'daki gibi, ama sıcak kâsenin biçimi değişik, (d) Aynen (b)'deki gibi, ama şimdi kâse soğuduğunda, kurbağa bir vadiye doğru kayar ki burası da kâsenin ortasından (kurtçukların bulunduğu yerden) belli bir uzaklıktadır.

Eğer kurbağayla kurtçukların arasındaki uzaklığın, alanın değerini -kurbağa kurtçuklardan ne kadar uzaksa, alanın değeri de o kadar büyüktür- ve kurbağanın yüksekliğinin o alan değerindeki enerjiyi temsil ettiğini varsayarsak -kâsenin içinde kurbağa ne kadar yüksekteyse, alan da o kadar fazla enerji içerir- o zaman bu örnekler, evren soğudukça alanların sergiledikleri davranışlara benzetilebilir. Evren sıcakken alanlar, tıpkı kâsenin içindeki kurbağanın bir yerden diğerine sıçradığı gibi, şiddetle bir değerden diğerine sıçrar. Evren soğudukça alanlar "sakinleşirler", daha seyrek ve daha sakin sıçramaya başlarlar ve değerleri aşağıya, düşük enerjilere kayar.

Önemli nokta işte buradadır. Kurbağa örneğinde olduğu gibi, nitel olarak farklı sonuçların ortaya çıkma olasılığı vardır. Eğer alanın enerji kâsesinin şekli -ki buna potansiyel enerji denir- Şekil 9.1a'dakine benziyorsa, alanın uzaydaki değeri, tıpkı kurbağanın kurtçukların bulunduğu yere kadar kayması gibi, kâsenin merkezine kadar, sıfıra kadar düşecektir. Ama eğer alanın potansiyel enerjisi Şekil 9.1c'dekine benziyorsa, alanın değeri sıfıra kadar, enerji kâsesinin merkezine kadar düşmeyecektir. Tıpkı kurbağanın kurtçuklardan sıfırdan farklı bir miktar uzaklıktaki vadiye kayması gibi, alanın değeri de vadiye -kâsenin merkezinden sıfırdan farklı bir miktar uzaklıktadır- kayacaktır ki bunun anlamı alanın sıfırdan farklı bir değer alacağıdır. Bu son davranış biçimi Higgs alanlarının karakteristiğidir. Evren soğudukça bir Higgs alanının değeri de vadiye takılır ve hiçbir zaman sıfıra düşmez. Bu tarif ettiğimiz şey birörnek bütün uzayda olacağından, evren, birörnek ve sıfırdan farklı bir Higgs alanı -bir Higgs okyanusu- içinde yüzer.

Bunun oluş nedeni, Higgs alanlarının temeldeki tuhaflığına ışık tutar. Uzayın bir bölgesi soğuyup boşaldıkça -madde ve ışınım daha dağınık hale geldikçe- o bölgedeki enerji de giderek azalır. Bunu sınır değerlere kadar götürürsek, enerjisini düşürebildiğiniz kadar düşürdüğünüz zaman, uzayın olabilecek en boş bölgesine ulaşmışsınız demektir. Uzayın bir bölümünü kaplayan sıradan alanlar için, Şekil 9.1b'deki gibi, değerleri kâsenin ortasına kadar kaydığı zaman bunların enerji katkısı en düşüktür; yani değerleri sıfır olduğunda enerjileri de sıfırdır. Bu da iyi ve sağduyuya uygun bir anlam ifade eder, çünkü biz de uzayın bir bölümünü boşaltmayı, alan değerleri de bunun içinde olmak üzere her şeyi sıfıra eşitlemekle ilişkilendiririz.

Ama bir Higgs alanı için her şey farklı işler. Nasıl bir kurbağa Şekil 9.1c'deki gibi, ancak çevredeki vadiden sıçrayabilmek için yeterli enerjiye sahip olduğu takdirde merkezi bir düzlüğe ulaşabilir ve kurtçuklarla sıfır uzaklığa ulaşabilirse, Bir Higgs alanı da ancak kâsenin merkezindeki tepeyi aşacak kadar enerji taşıdığı takdirde kâsenin merkezine ulaşabilir ve sıfır değerini alabilir. Eğer, tersine, kurbağanın enerjisi çok azsa ya da yoksa, Şekil 9.1d deki gibi, vadiye -kurtçuklardan sıfırdan farklı bir uzaklığa- kadar kayacaktır. Benzer biçimde, enerjisi çok az veya sıfır olan bir Higgs alanı da kâsenin vadi bölümüne -kâsenin merkezinden sıfırdan farklı bir uzaklık- kadar kayacak ve bu yüzden de sıfırdan farklı bir değer alacaktır.

Bir Higgs alanını sıfır değerini -bölgeden bir alanı tümüyle boşaltmak için yaklaşabilecek gibi göründüğünüz en yakın değer, hiçlik değerine ulaşmak için yaklaşabilecek gibi göründüğünüz en yakın değer- almaya zorlamak için, enerjisini yükseltmek zorundasınız ve enerji cinsinden konuşursak, bu durumda, uzayın o bölgesi olabileceği kadar boş olmayacaktır. Kulağa çelişkili gibi gelse de, Higgs alanını yok etmek -yani değerini sıfıra düşürmek- o bölgeye enerji vermekle aynı anlamdadır. Kaba bir benzetme olarak, dışarıdan, çevreden gelen ses dalgalarını yok edecek ses dalgalan üreterek kulak zarınıza çarpacak olan seslerin gelmesini engelleyen şu fantezi kulaklıkları düşünün. Eğer kulaklık mükemmel çalışırsa, o ses ürettiğinde sessizlik olur ama kulaklığı kapattığınızda çevreden gelen sesleri duyarsınız. Araştırmacılar, tıpkı kulaklığınızın programlandığı sesleri çıkardığında daha az ses duymanız gibi; soğuk, bomboş uzayın da Higgs alanı okyanusuyla dolu olduğunda, sahip olabileceği en düşük enerjiye sahip olacağına -olabileceği kadar boş olacağına- inanma durumuna gelmişlerdir. Araştırmacılar, olabilecek en boş

uzayı boşluk olarak adlandırırlar ve böylece boşluğun aslında birörnek bir Higgs alanıyla dolu olabileceğini öğreniriz.

Bir Higgs alanının uzayda sıfırdan farklı bir değer alması süreci -bir Higgs okyanusunun oluşumu- kendiliğinden simetri kırılması' olarak adlandırılır ve yirminci yüzyılın kuramsal fiziğinin son yirmibeş-otuz yılında ortaya atılan en önemli fikirlerden biridir. Nedenini görelim.

Higgs Okyanusu ve Kütlenin Kaynağı

Eğer bir Higgs alanının değeri sıfırdan farklı ise -eğer hepimiz bir Higgs okyanusunda yüzüyorsak- o zaman bunu hissetmemiz, görmemiz veya bir şekilde bundan haberdar olmamız gerekmez mi? Kesinlikle. Modern kuram haberdar olduğumuzu iddia ediyor. Diğer elinizle kolunuzu tutun ve ileri geri sallayın. Kolunuzun kütlesini ileri-geri hareket ettiren kaslarınızın işleyişini hissedebilirsiniz. Eğer bir bowling topunu tutarsanız, kaslarınızın daha çok çalışması gerekir çünkü hareket ettirilen kütle büyüdükçe uygulanması gereken kuvvet de artar. Bu anlamda bir cismin kütlesi, onun hareket ettirilmeye karşı olan direncini temsil eder; daha kesin bir dille söylemek gerekirse, kütle bir cismin hareketinin değiştirilmesine, yani önce sola, sonra sağa, sonra yeniden sola gidişlere -ivmelere- karşı direncini temsil eder. Ama ivmelenmeye karşı bu direnç nereden geliyor? Veya fizik diliyle ifade edersek, bir cisme eylemsizlik (süredurum) özelliği nereden geliyor?

Bölüm 2 ve Bölüm 3'te Newton, Mach ve Einstein'ın bu soruya kısmi cevap olarak öne sürdükleri önerileri gördük. Bu bilim insanları, örneğin dönen kova deneyinde ortaya çıkan ivme gibi ivmeleri ona göre tanımlayabilecekleri bir durağanlık standardı belirlemenin peşindeydiler. Newton için bu standart mutlak uzaydı; Mach için, uzak yıldızlardı ve Einstein için, önceleri mutlak uzay-zaman iken (özel görelilikte) sonraları kütleçekimi (genel görelilik) oldu. Ama durağanlık standardı ve özel olarak ivmelerin ona göre ölçülebileceği bir referans sistemi bir kere tanımlandıktan sonra, bu bilim insanlarından hiçbiri bir adım ileri gidip cisimlerin neden ivmelenmeye direnç gösterdiğini açıklamadı. Yani hiç kimse bir cismin ivmelere karşı çıkan özelliği olan kütlesini -eylemsizliğini- kazanma mekanizmasını belirlemedi. Higgs alanı sayesinde fizikçiler şimdi bu soruya bir cevap öneriyorlar.

Kolunuzu ve tutmakta olabileceğiniz bowling topunu oluşturan atomların hepsi proton, nötron ve elektronlardan oluşmaktadır. 1960'ların sonlarında yapılan deneyler, proton ve nötronların her birinin, kuark adı verilen, daha küçük üç parçacıktan oluştuğunu ortaya koymuştur. O zaman, kolunuzu salladığınızda bütün bu kuarkları ve elektronları ileri-geri sallıyorsunuz demektir ki bu da bizi ilginç bir noktaya götürür. Modern kuramın hepimizin içinde yüzdüğünü öne sürdüğü Higgs okyanusu kuark ve elektronlarla etkileşir. Tıpkı bir kaptaki balın, içine daldırılan ping-pong topunun hareketlerine direnç göstermesi gibi Higgs alanı da bu parçacıkların ivmelenmesine direnç gösterir. Bu direnç, bileşen parçacıklar üzerindeki bu çekme, sizin kolunuzun veya tutmakta olduğunuz bowling topunun veya fırlattığınız bir cismin veya bir 100 metre yarışında bitiş çizgisine doğru ilerlerken tüm gövdenizin kütlesi olarak algıladığınız şeye katkıda bulunur. Bu yüzden biz Higgs okyanusunu hissederiz. Bir cismin ya da diğerinin hızını değiştirmek üzere -onlara ivme kazandırmak için- günde binlerce kez uyguladığımız kuvvetler, Higgs okyanusunun direncine karşı savaşan kuvvetlerdir.

Bal benzetmesi Higgs okyanusunun pek çok özelliğini ortaya koyar. Bala batırılmış bir ping-pong topunu ivmelendirebilmek için, bodrumdaki masada ping-pong oynarken uyguladığınız kuvvetlerden çok daha büyük kuvvetler uygulamanız gerekir; hızını değiştirmek için yaptığınız girişimlere, bala batırılmış olmadığı duruma göre çok daha fazla direnç gösterir ve bu yüzden, bala batırılmak sanki onun kütlesini artırmış gibi davranır. Benzer şekilde, her yerde var olan Higgs okyanusuyla etkileşmeleri sonucunda, temel parçacıklar hızlarının değiştirilmelerine direnç gösterirler, kütle kazanırlar. Bununla birlikte bal benzetmesinin, haberdar olmanız gereken üç yanıltıcı özelliği vardır.

Birincisi, her zaman bala ulaşıp topu baldan çıkararak ivmeye karşı direncinin nasıl azaldığını görebilirsiniz. Parçacıklar için bu doğru değildir. Bugün, Higgs okyanusunun bütün uzayı dol-durduğuna inanıyoruz, bu nedenle parçacıkları onun etkisinden kurtarmanın bir yolu yoktur; bütün parçacıklar nerede olduklarından bağımsız olarak bir kütleye sahiptir, ikincisi, bal bütün hareketlere direnç gösterirken Higgs alanları yalnızca ivmeli hareketlere direnç gösterirler. Balın içinde hareket eden toptan farklı olarak, uzayda sabit hızla hareket eden bir parçacık, Higgs okyanusundaki "sürtünme" nedeniyle yavaşlamaz. Hareket sabit hızla devam eder. Ancak parçacığı hızlandırmaya ya da yavaşlatmaya çalıştığımızda Higgs alanı

okyanusu, varlığını, uygulamamız gereken kuvvetler yoluyla ortaya koyar. Üçüncüsü, temel parçacık yığınlarından oluşan, bilindik maddeye geldiğimiz zaman, bir başka önemli kütle kaynağı daha vardır. Proton ve nötronları oluşturan kuarklar, güçlü nükleer kuvvet tarafından bir arada tutulur: Gluon parçacıkları (güçlü nükleer kuvvetin haberci parçacıkları) kuarklar arasında değiş-tokuş edilerek onları birbirlerine 'yapıştırırlar". Deneyler bu gluon parçacıklarının yüksek enerjili olduklarını göstermiştir, Einstein'ın E=mc~ denklemi enerjinin (E), kendisini kütle (m) olarak gösterebileceğini söylediği için, proton ve nötronların içinde bulunan gluonların, bu parçacıkların toplam kütlelerine önemli katkılarda bulunduğunu öğreniyoruz. Bu nedenle, daha doğru bir yaklaşım, Higgs okyanusunun balınkine benzeyen direncinin, elektron ve kuark gibi temel parçacıklara kütlelerini sağladığını düşünmektir ama bu temel parçacıklar, proton, nötron, atom gibi bileşik parçacıklar oluşturmak üzere bir araya geldiklerinde, başka (iyi bilinen) kütle kaynakları da işin içine girer.

Fizikçiler, Higgs okyanusunun bir parçacığın ivmesine gösterdiği direncin derecesinin, parçacığın türüne göre değiştiğini varsayarlar. Bilinen temel parçacık türlerinin hepsinin kütleleri farklı olduğu için bu önemlidir. Örneğin, proton ve nötronlar iki tür kuarktan oluşmakta iken (bunlara yukarı-kuark ve asağı-kuark adı verilir: Proton, iki yukarı ve bir aşağı, nötron ise iki aşağı ve bir yukarı kuarktan oluşur), yıllar boyunca atom çarpıştırıcıları kullanan deneyciler, kütleleri protonunkinin 0,0047'si ile 189 katı arasında büyük bir aralıkta değişen dört farklı kuark parçacığı daha buldular. Fizikçiler, kütlelerin bu kadar farklı olmasının nedeninin, farklı parçacıkların Higgs okyanusu ile daha güçlü veya daha zayıf etkileşmesi olduğuna inanıyorlar. Eğer bir parçacık Higgs okyanusunda düzgün bir biçimde hiç etkileşmeden veya çok az etkileşerek hareket ederse, çok az direnç göreceği ya da hiç görmeyeceği için parçacığın kütlesi de ya çok küçük, ya da sıfır olacaktır. Foton buna iyi bir örnektir. Fotonlar Higgs okyanusundan hiç engellenmeden geçerler ve bu yüzden kütleleri yoktur. Eğer, tersine, parçacık Higgs okyanusuyla şiddetli bir şekilde etkileşirse, kütlesi de büyük olacaktır. Kütlesi elektron kütlesinin 350.000 katı olan en büyük kütleli kuark (üst-kuark adı verilir) Higgs okyanusu ile bir elektrondan 350.000 kat daha fazla etkileşir; Higgs okyanusu içinde ivmelendirilmesi daha zordur, kütlesinin de daha büyük olma nedeni budur. Eğer parçacığın kütlesini bir kimsenin ününe benzetirsek, Higgs okyanusu da paparazzi gibidir: Tanınmamış kişiler fotoğrafçı kümesinin içinden

kolayca geçerler ama ünlü politikacılar veya film yıldızları gidecekleri yere ulaşmakta daha fazla zorlanırlar.

Bu da, neden bir parçacığın kütlesinin diğerinden farklı olduğunu düşünmek için uygun bir yapı oluşturur, ama bugün, bilinen parçacık türlerinin Higgs okyanusuyla kesin etkileşme biçimleri konusunda temel bir açıklama yoktur. Sonuç olarak, neden bilinen parçacıkların deneylerle ortaya konmuş olan özel kütlelerine sahip oldukları yolunda temel bir açıklama yoktur. Bununla birlikte, çoğu fizikçi, eğer Higgs okyanusu olmasaydı, bütün temel parçacıkların fotona benzeyeceğine, hiçbir şekilde kütleleri olmayacağını düşünür. Aslında, şimdi göreceğimiz gibi, evrenin ilk anlarında durum gerçekten böyle olmuş olabilir.

Soğuyan Bir Evrende Birleşme

Nasıl buhar 100 derece Celsius'ta yoğunlaşarak sıvı suya, sıvı su da 0 derece Celsius'ta donarak katı buza dönüşürse, kuramsal çalışmalar da Higgs alanının milyon kere milyar (1015) derecede sıfırdan farklı bir değere yoğunlaştığını göstermiştir. Bu, hemen hemen Güneş'in çekirdeğindeki sıcaklığın 100 milyon katı olup, evrenin Büyük Patlama dan saniyenin yüz milyarda biri (10-11) saniye kadar sonra sıcaklığın düştüğüne inanılan değerdir. Büyük Patlama'dan 10-11 saniye sonrasına kadar Higgs alanı aşağı-yukarı salınmakla birlikte ortalama değeri sıfırdı; suyun 100 derecenin üzerindeki durumu gibi, böylesi sıcaklıklarda ortam çok sıcak olduğu için Higgs okyanusu oluşamazdı. Okyanus anında buharlaşmış olurdu. Higgs okyanusu olmadığından ivmeli hareket eden parçacıklara gösterilen bir direnç yoktu (paparazzi ortadan kaybolmuştu), ki bu da, bilinen bütün parçacıkların (elektronlar, yukarı-kuarklar, aşağı-kuarklar ve diğerleri) aynı kütleye sahip oldukları anlamına gelir: Sıfır.

Bu gözlem, neden Higgs okyanusunun oluşumunun kozmolojik bir faz geçişi olarak tarif edildiğini kısmen açıklar. Buhardan suya ve sudan buza faz geçişlerinde, başlıca iki şey olur. Görünüşte önemli bir nitel değişiklik vardır ve faz geçişlerine simetrideki azalma eşlik eder. Higgs okyanusunun oluşumunda da bu iki temel özelliği görürüz. Birincisi, önemli bir nitel değişiklik vardı: O zamana kadar kütlesiz olan parçacıklar aniden sıfırdan farklı kütlelere -bu parçacıkların şimdiki kütleleri- kavuşmuşlardı. ikincisi, bu değişikliğe simetride bir azalma eşlik etmişti: Higgs okyanusunun

oluşumundan önce bütün parçacıklar aynı kütleye -sıfır- sahipti ve bu da simetrik ilişkiler demekti. Eğer bir parçacığın kütlesini diğerininki ile değiştirseniz, bütün kütleler birbiriyle aynı olduğu için, bundan kimsenin haberi bile olmazdı. Ama Higgs alanı yoğunlaştıktan sonra, parçacık kütleleri sıfırdan farklı -ve eşit olmayan- değerlere kavuştular ve dolayısı ile kütleler arasındaki simetri de kayboldu.

Aslında, Higgs okyanusunun oluşumundan kaynaklanan simetri azalması daha da yaygındır. 10-15 derecenin üzerinde Higgs okyanusu henüz yoğunlaşmadan önce, kütlesiz olanlar yalnızca temel parçacıkların değişik türleri değildi, Higgs okyanusunun direnci olmadığından kuvvet parçacıklarının bütün türleri de kütlesizdi. (Bugün, zayıf nükleer kuvvetin W ve Z haberci parçacıkları proton kütlesinin 86 ve 97 katı kütleye sahip oldukları biliniyor.) Ve 1960'larda özgün olarak Sheldon Glashow, Steven Weinberg ve Abdus Salam tarafından keşfedildiği gibi, bütün kuvvet parçacıklarının kütlesiz oluşlarına bir başka, olağanüstü güzel bir simetri eşlik eder.

1800'lerin sonlarına doğru Maxwell, bir zamanlar tümüyle ayrı kuvvetler olduğu düşünülen elektrik ve manyetizma kuvvetlerinin, aslında aynı kuvvetin -elektromanyetik kuvvetin- iki farklı yüzü olduğunu anlamıştı (Bölüm 3'e bakınız). Onun çalışmaları elektrik ve manyetizmanın birbirini tamamladığını gösterdi; onlar çok daha simetrik, birleşik bir bütünün yin ve yang'ı idiler. Glashow, Salam ve Weinberg bu birleşim öyküsünün sonraki bölümünü keşfettiler. Onlar, Higgs okyanusu oluşmadan önce, yalnızca bütün kuvvet parçacıklarının aynı -sıfır- kütleye sahip olmakla kalmadıklarını, fotonlarla W ve Z parçacıklarının da her anlamda aynı olduklarını anladılar. Nasıl bir kar kristali, uçlarının yer değiştirdiği dönmelerden etkilenmiyorsa, Higgs okyanusunun yokluğunda fiziksel süreçler de elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvet parçacıklarının değiş-tokuşundan, fotonların ve W ve Z parçacıklarının değiş tokuşundan etkilenmezdi. Nasıl bir kar kristalinin dönme hareketinden etkilenmemesi bir simetriyi gösteriyorsa (dönme simetrisi), süreçlerin bu parçacıkların değiş-tokuşundan etkilenmemesi de bir simetriyi gösterir, teknik nedenlerden ötürü bu simetriye ayar simetrisi adı verilir. Bunun derin sonuçlan vardır. Bu parçacıklar ait oldukları kuvveti taşıdıkları için -bunlar, bu kuvvetlerin haberci parçacıklarıdır- bunların arasında simetri bulunması, kuvvetlerin de simetrik olduğu anlamına gelir. Bu yüzden, yeterince yüksek sıcaklıklarda, günümüzdeki Higgs alanı boşluğunu buharlaştıracak kadar

yüksek sıcaklıklarda, zayıf nükleer kuvvetle elektromanyetik kuvvet arasında bir fark yoktur. Higgs okyanusunu buharlaştıracak kadar yüksek sıcaklıklarda zayıf nükleer kuvvetle elektromanyetik kuvvet arasındaki fark da buharlaşır.

Glashow, Weinberg ve Salam, elektromanyetik kuvvetle zayıf nükleer kuvvetin, aslında tek bir kuvvetin parçaları olduğunu göstererek Maxwell'in yüz yıllık keşfini genişlettiler. Bu iki kuvvetin tanımlarını, şimdi elektrozayıf kuvvet olarak bilinen bir tanım altında birleştirdiler.

Elektromanyetik ve zayıf kuvvetler arasındaki simetri günümüzde pek fark edilmez, çünkü evren soğudukça Higgs okyanusu oluştu ve -burası önemli- fotonlarla W ve Z parçacıkları, yoğunlaşan Higgs alanıyla farklı şekilde etkileşirler. Fotonlar Higgs okyanusundan ünlü olmayan kişilerin paparazziler arasından geçtiği kolaylıkta geçerler ve dolayısı ile kütlesiz kalırlar. Ama W ve Z parçacıları Bill Clinton ve Madonna gibi zorlukla geçeceklerinden, sırasıyla protonun 86 ve 97 katı kütleye sahiptirler. (Not: Bu benzetme ölçekli değildir). Etrafımızdaki dünyada elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvetlerin bu kadar farklı görünmesinin nedeni budur. Bunların arasındaki simetri, Higgs okyanusu (Higgs çökeleği) tarafından "kırılmıştır" ya da gizlenmiştir.

Bu gerçekten nefes kesici bir sonuçtur. Günümüz sıcaklıklarında çok farklı görünen iki kuvvet -elektromanyetik kuvvet ışıktan, elektrikten ve mıknatısın çekmesinden; zayıf nükleer kuvvet ise radyoaktif bozunmadan sorumludur- esas olarak aynı kuvvetin parçaları olup, yalnızca sıfırdan farklı Higgs alanı aralarındaki simetriyi gizlediğinden farklı görünmektedirler. Bu nedenle normalde uzay boşluğu -yokluk, hiçlik- olarak düşündüğümüz şey, dünyadaki her şeyin, olduğu gibi görünmesinde önemli bir rol oynar. Yalnızca boşluğu buharlaştırarak, sıcaklığı Higgs alanının buharlaşacağı kadar yükselterek -yani uzaydaki ortalama değerini sıfır yaparak- doğa yasalarının altında yatan tam simetri ortaya çıkarılabilir.

Glashow, Weinberg ve Salam bu düşünceleri geliştirirken, W ve Z parçacıkları daha deneysel olarak keşfedilmemişti. Bu fizikçilere ilerlemeleri için güven veren, kuramın gücüne ve simetrinin güzelliğine duydukları kuvvetli sadakatti. Onların cesareti, temelsiz olmadığını gösterdi. Geçen zaman içinde W ve Z parçacıkları keşfedildi ve elektrozayıf kuram deneysel olarak doğrulandı. Glashow, Weinberg ve Salam, doğanın dört kuvvetinden ikisini birbirine bağlayan derin ve fark edilmesi güç

simetriyi ortaya çıkarmak için yüzeysel görüntünün ötesine -hiçliği gizleyen sisin içine doğru- bakmışlardı. Zayıf nükleer kuvvet ve elektromanyetizmayı başarılı bir şekilde birleştirdikleri için 1979'da Nobel Ödülünü aldılar.

Büyük Birleşim

Ben üniversite birinci sınıfta iken, her fırsatta danışmanım olan fizikçi Howard Georgi'nin yanına uğrardım. Aslında hiçbir zaman söyleyecek çok fazla şeyim olmazdı ama bunun bir önemi yoktu. Georgi'nin her zaman ilgili öğrencilerle heyecanla paylaşacağı bir şeyler olurdu. Bir keresinde Georgi özel olarak heyecanlıydı, bir saatten fazla ateşli bir şekilde konuştu, tahtayı birkaç kere semboller ve denklemlerle doldurdu. Bütün bu süre boyunca ilgili bir şekilde başımı sallayıp durdum. Ama dürüst olmak gerekirse, bir kelime bile anlamamıştım. Yıllar sonra, Georgi'nin bana büyük birleşme adı verilen keşfini sınamak üzere yaptığı planları anlatmış olduğunu fark ettim.

Büyük birleşme, elektrozayıf birleşmenin başarısından sonra doğal olarak sorulması gereken soruyu ortaya atar: Eğer doğanın iki kuvveti, evrenin ilk dönemlerinde birleşik bir bütünün parçaları idiyse, daha yüksek sıcaklıklarda ve evrenin daha da erken dönemlerinde üç ya da olasılıkla dört kuvvetin tümü arasındaki farklar benzer şekilde buharlaşarak daha büyük bir simetriyi ortaya koymuş olmaz mı? Bu, aslında doğanın tek bir temel kuvveti olduğu, bir dizi kozmolojik faz geçişiyle, bu kuvvetin şimdi haberdar olduğumuz, görünüşte farklı olan dört kuvvet şeklinde kristalleşmiş olma olasılığını ortaya atar. 1974'te Georgi ve Glashow, bu tam birleştirme amacına yönelik ilk kuramı ileri sürdüler. Onların büyük birleşik kuramı, Georgi, Helen Quinn, Weinberg'in sonraki görüşleriyle birlikte, sıcaklığın Güneş'in merkezindeki sıcaklığın bin kere milyar kere milyar kat üstünde olduğu, Büyük Patlama'dan 10-35 saniye sonrasına kadarki uç koşullarda, dört kuvvetten üçünün -güçlü, zayıf ve elektromanyetik kuvvetler- tek bir birleşik kuvvetin parçaları olduğunu ileri sürüyordu. Bu fizikçiler, bu sıcaklığın üzerinde fotonların, W ve Z parçacıklarının ve gluonların hepsinin, herhangi bir gözlenebilir sonuç olmaksızın, serbestçe birbirleriyle değiş-tokuş ediliyor olabileceklerini -elektrozayıf kuramınkinden daha sağlam ve güçlü bir ayar simetrisi- ileri sürdüler. Georgi ve Glashovv böylece bu yüksek enerji ve sıcaklıklarda

kütleçekimsel olmayan üç kuvvet parçacıkları arasında, bu yüzden de kütleçekimsel olmayan üç kuvvet arasında tam bir simetri olduğunu ortaya attılar.

Glashovv ve Georgi'nin büyük birleşik kuramı, bu simetriyi çevremizde görmediğimizi -proton ve nötronları çekirdekte bir arada tutan güçlü nükleer kuvvet, zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerden tamimiyle farklı görünür- çünkü sıcaklık 1028 derecenin altına düştüğünde Higgs alanının bir başka türünün öyküye girdiğini söyleyerek devam etti. Bu Higgs alanı büyük birleşik Higgs olarak adlandırılır. (Karışabilecekleri durumlarda elektrozayıf birleşimle ilişkili olan Higgs alanına elektrozayıf Higgs adı verilir.) Elektrozayıf akrabasına benzer şekilde büyük birleşik Higgs, 1028 derecenin üzerinde şiddetle salınıyordu ama hesaplamalar onun, evrenin sıcaklığı bu derecenin altına düştüğünde sıfırdan farklı bir değere yoğunlaştığını gösterdi. Elektrozayıf Higgs'de olduğu gibi, bu büyük birleşik Higgs okyanusu oluştuğunda, evren bir faz geçişi yaşadı ve buna simetrideki bir azalma eşlik etti. Bu durumda, büyük birleşik Higgs okyanusunun gluonlar üzerindeki etkisi, diğer kuvvet parçacıkları üzerindeki etkilerinden farklı olduğu için, güçlü nükleer kuvvet elektrozayıf kuvvetten ayrılarak, daha önce tek olan kuvvet yerine kütleçekimsel olmayan iki farklı kuvvete yol açtı. Saniyenin bir kesri kadar ve sıcaklığın milyarlarca ve milyarlarca derece düşmesinden sonra, elektrozayıf Higgs yoğunlaşarak zayıf ve elektromanyetik kuvvetlerin de ayrılmasına yol açtı.

Güzel bir fikir olmakla birlikte büyük birleşme (elektrozayıf birleşme doğrulanmıştı) deneysel olarak doğrulanmadı. Tersine, Georgi ve Glashow'un özgün önerisi, evrenin ilk dönemlerindeki simetrinin bir kalıntısının, protonların ara sıra başka parçacıklara (karşı-elektron ve pion gibi)dönüşmelerine olanak tanıyan ve bugün gözlenmesi gereken bir kalıntısının varlığını öngörmüştü. Ama yer altı deneyleriyle -Georgi'nin yıllar önce ofisinde bana heyecanla anlattığı deney- böylesi proton boyanmalarını bulmaya çalışan ve yıllar süren araştırmalardan sonra, böyle bir bozunma bulunmadı; bu da Georgi ve Glashow'un önerisini geçersiz hale getirdi. Bununla birlikte, fizikçiler o zamandan beri bu özgün model üzerinde deneylerce geçersiz kılınmayan çeşitlemeler geliştiriyorlarsa da, şimdiye kadar bu seçenek kuramlardan hiçbiri henüz doğrulanmadı.

Büyük birleşmenin fizikteki en büyük ama henüz gerçekleştirilmemiş fikirlerden biri olduğu yolunda fizikçiler arasında bir fikir birliği vardır. Birleşme ve kozmolojik faz geçişlerinin, elektromanyetizma ve zayıf

nükleer kuvvet için öylesine etkili oldukları kanıtlanmıştır ki, birçokları diğer kuvvetlerin de bu birleşik yapıya katılmasının yalnızca bir zaman sorunu olduğunu düşünüyorlar. Bölüm 12'de göreceğimiz gibi, bu yönde son zamanlarda, ilk defa, aralarında kütleçekimi de olmak üzere bütün kuvvetleri birleşik bir kuramda bir araya getiren, ama bu kitabın yazıldığı zaman bile hâlâ gelişmekte olan farklı bir yaklaşım -süpersicim kuramı- kullanılarak büyük adımlar atılmıştır. Ama yalnız elektrozayıf kuram göz önüne alınsa bile, şimdi gördüğümüz evrenin, ilk dönemlerdeki görkemli simetrinin kalıntılarını sergilediği açıktır.

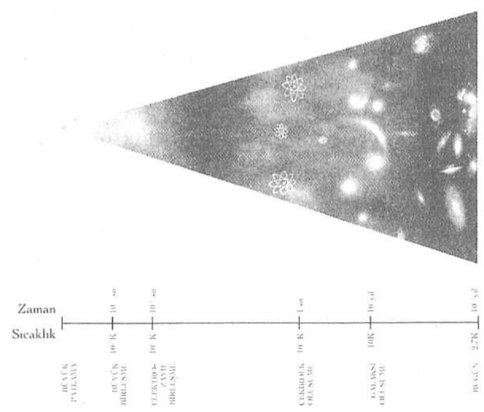
Esir'in Dönüşü

Simetri kırılması kavramı ve bunun elektrozayıf Higgs alanı yoluyla gerçekleşmesinin parçacık fiziğinde ve kozmolojide çok önemli bir rol oynadığı açıktır. Ama tartışma, şunu merak etmenize yol açmış olabilir: Eğer bir Higgs okyanusu, normalde boş uzay olarak düşündüğümüz yeri dolduran, görünmez bir şeyse, bu, uzun süre önce gözden düşmüş bir kavram olan esirin yeniden canlanması anlamına gelmez mi? Cevap: Hem evet, Hem hayır. Açıklama: Aslında evet, bazı bakımlardan Higgs okyanusu esirin bir çeşnisidir. Tıpkı esir gibi çökelmiş Higgs alanı da uzayı doldurur, hepimizi sarar, maddesel her şeyin içine sızar ve uzayın yok edilemez bir özelliği olarak (evreni yeniden 1015 derecenin üzerine kadar ısıtmadıkça ki bunu gerçekte yapamayız) hiçlik kavramımızı yeniden tanımlar. Oysa ses dalgalarını taşıyan hava gibi ışık dalgalarını taşıyan bir ortam olarak ileri sürülen özgün esirin tersine, Higgs okyanusunun ışığın hareketiyle uzaktan yakından ilgisi yoktur. Işığın hızını herhangi bir şekilde etkilemez, bu yüzden de yirminci yüzyılın başında ışığın hareketini inceleyerek esiri bertaraf eden deneylerin Higgs okyanusuna karşı belirli bir tavrı yoktur.

Üstelik Higgs okyanusunun sabit hızla hareket eden herhangi bir şey üzerinde bir etkisi olmadığından, esirde olduğu gibi özel bir gözlemsel bakış açısı seçmez. Higgs okyanusunun içinde sabit hızla hareket eden tüm gözlemciler birbirleriyle eşittirler, bu yüzden Higgs okyanusunun varlığı özel görelilikle çelişmez. Elbette bu gözlemler Higgs okyanusunun varlığını kanıtlamaz; daha çok, esirle belirli bazı benzerlikleri olsa bile, Higgs alanlarının herhangi bir kuram veya deneyle çelişkili olmadığını gösterirler.

Eğer bir Higgs alanı okyanusu varsa, gelecek birkaç yıl içinde deneysel olarak sınanabilir sonuçlara yol açmalıdır. En önemli örnek olarak, nasıl elektromanyetik alan fotonlardan oluşuyorsa, Higgs alanı da, şaşırtıcı olmayacak bir şekilde Higgs parçacıkları adı verilen parçacıklardan oluşmaktadır. Kuramsal hesaplamalar, eğer uzayı kaplayan bir Higgs okyanusu varsa, İsviçre'nin Cenevre kentindeki Avrupa Nükleer Araştırmalar Merkezi'nde (Centre Europeene pour la Recherce Nuclaire) (CERN) yapım halinde olan ve 2008 baharında işlemeye başlayacak olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı (LHC) adı verilen atom çarpıştırıcısında yer alacak yüksek enerjili çarpışmalarda ortaya çıkacak parçacıklar arasında Higgs parçacıklarının da olması gerektiğini göstermiştir. Tahminen, son derece yüksek enerjili protonlar arasında kafa kafaya gerçekleşecek çarpışmalar Higgs okyanusundan bir Higgs parçacığını fırlatabilir, tıpkı su altındaki yüksek enerjili çarpışmaların H20 moleküllerini Atlas okyanusundan fırlatabileceği gibi. Bu arada, bu deneyler bize, esirin bu modern biçiminin var olup olmadığı konusunda bir fikir verecektir. Bu, bir karara bağlanması gereken kritik bir sorudur, çünkü görmüş olduğumuz gibi, Higgs alanlarının yoğunlaşması, temel fiziğin çağdaş formülleştirilmesinde derin ve merkezi bir rol oynamaktadır.

Eğer Higgs okyanusu bulunamazsa, otuz yıldır yerli yerinde olan kuramsal yapının yeniden gözden geçirilmesi gerekecektir. Ama bulunursa, bu olay kuramsal fiziğin bir utkusu olacaktır: Bilinmeyene doğru giderken kullandığımız matematiksel düşünce mantığını doğru biçimde şekillendiren simetrinin gücünü kanıtlayacaktır. Bunun ötesinde, Higgs okyanusunun varlığının doğrulanması, iki şey daha yapacaktır: Birincisi, günümüz evreninde birbirinden ayrı görünen özelliklerin, simetrik bir bütünün parçaları olduğu çok eski bir dönemin varlığının doğrudan kanıtlarını verecektir, ikincisi, sezgisel uzay boşluğu kavramımızın -bir bölgeden her şeyi çıkararak enerji ve sıcaklığının olabildiğince düşürülmesinin sonucunda ortaya çıkan şey- çok uzun zamandır sergilediğimiz bir safdillik olduğunu kanıtlayacaktır.



Şekil 9.2 Kozmolojideki standart Büyük Patlama modelini şematik olarak gösteren bir zaman çizgisi

Uzay boşluğunun en boşu bile mutlak bir hiçlik durumunu içermek zorunda değildir. Bu nedenle, uzay ve zamanı anlamak için yürüttüğümüz bilimsel arayışta Henry More'un düşüncelerini tinsel hiçbir kavramın yardımı olmaksızın (Bölüm 2) tazeleyebiliriz. More'a göre, uzay her zaman tanrısal bir ruhla dolu olduğu için, olağan boş uzay kavramı anlamsızdı. Bize göre ise, boş uzay her zaman bir Higgs alanı okyanusu ile dolu olabileceğinden olağan boş uzay kavramı benzer şekilde ele geçmez olabilir.

Entropi ve Zaman

Şekil 9.2'deki zaman çizgisi, incelediğimiz faz geçişlerini tarihsel bağlama yerleştirir ve böylece evrenin Büyük Patlama'dan mutfak tezgâhınızın üzerindeki yumurtaya kadar geçirdiği olaylar dizisi konusunda daha net bir fikir edinmemize yardımcı olur. Ama hayati bilgi hâlâ bulanık bölgede gizlidir. Hatırlayın, her şeyin nasıl başladığını bilmek -Savaş ve Barışın yapraklarının istiflenmesindeki sıra, kola şişesindeki basınçlı karbon dioksit molekülleri, Büyük Patlama da evrenin durumu- evrimin nasıl devam edeceğini anlamakta esastı. Entropi, ancak artması için gerekli yer verilirse artabilir. Entropi, eğer düşük başlamışsa artabilir. Eğer Savaş ve Barış ın yaprakları adamakıllı karışıksa, yaprak istifini bir kere daha havaya fırlatmak, onu gene karışık halde bırakır, eğer evren oldukça düzensiz,

yüksek- entropili bir durumda başlamışsa, kozmik evrim bu düzensizliği yalnızca devam ettirebilir.

Şekil 9.2'de gösterilen geçmiş, açık bir şekilde; sonsuz, değişmez bir düzensizliğin kaydı değildir. Kozmik faz geçişlerinde bazı özel simetriler kaybolmuş olsa bile, evrenin toplam entropisi artmaya devam etmiştir. Bu nedenle, başlangıçta, evren son derece düzenli olmalıdır. Bu gerçek, zamanda "ileri" yönünü, entropinin arttığı yönle ilişkilendirmemize izin verir, ama hâlâ yeni doğmuş olan evrenin son derece düşük entropili durumuna -son derece yüksek birörneklik durumuna- bir açıklama bulmak zorundayız. Bu da, şimdiye kadar gidebildiğimizden daha da gerilere giderek başlangıçta -Şekil 9.2'deki bulanık bölgede- ne olup bittiğini anlamaya çalışmamızı gerektirir. Şimdi bu konuya geliyoruz.

X. Bölüm - Patlama'nın Çözümlenmesi

Patlayan Neydi?

Büyük Patlama’nın kozmik başlangıç hakkında bir kuram sağladığı yolunda yaygın bir yanlış anlama vardır. Sağlamaz. Kısmen son iki bölümde anlatılan Büyük Patlama, evreni ortaya çıkaran şey her ne idiyse, ondan bir saniyenin küçük bir kesri kadar kısa bir süre sonra kozmik evrimin portresini yapmaya başlar ama sıfır yamanının kendisi hakkında hiçbir ş ey söylemez. İşte bu yüzden, Büyük Patlama kuramına göre, Büyük Patlama başlangıçta olmuş olması gereken şeydir. Büyük Patlama, patlamanın kendisini dışarıda bırakır. Bize neyin patladığını, neden patladığını, nasıl patladığını veya dürüst olmak gerekirse gerçekten patlayıp patlamadığını bile söylemez. Aslında, bir an düşünecek olursanız, Büyük Patlama'nın bizi bir bilmece ile karşı karşıya bıraktığını fark edersiniz. Evrenin ilk dönemlerindeki çok yoğun ve yüksek enerjili ortamında kütleçekimi, uzak ara en baskın kuvvetti. Ancak kütleçekimi çekici bir kuvvettir. Her şeyi bir araya gelmeye zorlar. O zaman, acaba uzayı dışarı doğru genişlemeye zorlayan kuvvetten sorumlu olan neydi? Büyük Patlama anında güçlü bir itici kuvvet kritik bir rol oynamış gibi duruyor, ama bu, doğadaki kuvvetlerden hangisi olabilir?

Kozmolojiye ilişkin soruların bu en temel olanı, on yıllar boyunca cevapsız kaldı. Sonra, 1980'lerin sonunda, Einstein'ın eski bir gözlemi, pırıl pırıl parlayan yepyeni bir biçimde canlanarak şişme kozmolojisi adı verilen kuramın yolunu açtı. Bu yeni keşifle, Büyük Patlama'dan sorumlu olmanın şerefi, sonunda onu hak eden kuvvete verildi: Kütleçekimi. Bu, şaşırtıcı olabilir ama fizikçiler, uygun koşullar altında kütleçekiminin itici olabileceğini ve kurama göre, kozmik tarihin ilk anlarında bu uygun koşulların bulunduğunu anladılar. Yanında nanosaniyenin bile sonsuzluk gibi kalacağı, çok kısa bir zaman aralığında genç evren, kütleçekiminin, itici yanını adamakıllı göstererek, uzayın her bölgesini diğerlerinden amansız bir şiddetle uzaklaştırdığı bir arena hazırlamıştı. Kütleçekiminin itmesi o kadar güçlüydü ki, yalnızca patlama saptanmakla kalmadı, herkesin var-saydığından daha büyük -çok daha büyük- olduğu ortaya çıktı. Şişme

yapısında genç evren, standart Büyük Patlama kuramının öngördüğüyle karşılaştırıldığında, göz kamaştırıcı ölçüde devasa bir faktörle genişlemiş ve kozmolojik manzaramızı, geçen yüzyıldaki, bizim galaksimizin yüz milyarlarca galaksiden yalnızca biri oluğunun fark edildiği kavrayışı bile cüce bırakacak ölçüde genişletmiştir.

Bu bölümde ve gelecek bölümde, şişme kozmolojisini inceleyeceğiz. Göreceğiz ki bu, standart Büyük Patlama modeli için bir "ön kenar" oluşturmaktadır ve evrenin ilk anlarındaki olaylar hakkında standart kuramın iddialarında kritik değişiklikler önermektedir. Bunu yaparken de şişme kozmolojisi, standart Büyük Patlama kuramının erişiminin ötesindeki sorunları giderir, bir kısmı deneysel olarak sınanmış, bir kısmı da yakın gelecekte sınanmaya devam edecek olan bazı öngörülerde bulunur ve belki de en çarpıcısı, kuantum süreçlerinin kozmik genişleme yoluyla uzayın dokusundaki minik kırışıklıkları ütüleyerek nasıl gece gökyüzünde görülebilen parmak izlerini bıraktıklarını gösterir. Bu kazanmaların ötesinde, şişme kozmolojisi, genç evrenin, sergilediği olağanüstü düşük entropiye nasıl sahip olmuş olabileceği ve bizi nasıl zamanın okunun açıklamasına şimdiye kadar olmadığı biçimde yaklaştırdığı konularında da önemli görüşler ileri sürer.

Einstein ve İtimsel Kütleçekimi

1915'te genel göreliliğin son rötuşlarını yaptıktan sonra Einstein, kütleçekimine ilişkin bu yeni denklemleri bir dizi probleme uyguladı. Bunlardan biri, uzun zamandır çözülemeyen, Merkür'ün yörüngesinin günberi noktasının Newton denklemleriyle açıklanamayan presesyonu - Merkür Güneş çevresindeki her turunda aynı yörüngeyi izlemez: Her yörünge, bir öncekine göre hafitçe kayar- bilmecesiydi. Yörünge hesaplarını yeni denklemlerle yapan Einstein, gözlenen günberi presesyonunu hassas bir biçimde buldu. Çok heyecanlandıran bu sonuç karşısında Einstein in kalp çarpıntısı hissettiği biliniyor. Einstein genel göreliliği, uzak bir yıldızdan Dünya ya doğru gelen ışığın yörüngesinin, Güneş yakınından geçerken uzay-zamandaki eğrilik nedeniyle ne kadar sapacağı problemine de uyguladı. 1919'da biri Afrika'nın batı kıyısının açıklarındaki Principe adasında, diğeri ise Brezilya'da bulunan iki grup astronom, Güneş tutulması sırasında, Güneş diskinin kenarından ilk görünen yıldız ışığı (bunlar Güneş'in varlığından en çok etkilenen ışınlar olup yalnızca Güneş tutulması

sırasında görülebilirler) gözlemlerini karşılaştırarak genel göreliliğin bu konudaki öngörüsünü sınadılar. Güneş'in kütleçekiminin yıldızdan gelen ışık ışını üzerindeki etkisini ortadan kaldırmak amacıyla, Dünya yörüngesinde dolanırken tam aynı yıldızlarla Güneş arasındayken fotoğraflar çekildi. Karşılaştırmalar, ışık ışınlarının bükülme miktarı konusunda bir kere daha Einstein'ın hesaplarını doğruladı. Basın bu haberi duyar duymaz Einstein bir gecede bütün dünyanın tanıdığı bir şöhret oluverdi. Einstein, genel görelilikle gümbür gümbür geliyordu.

Ama genel göreliliğin olağanüstü başarılarına rağmen, denklemlerini ilk kez sınavların en zoruna -bütün evreni anlamaya- uyguladıktan sonra Einstein, yıllarca hesaplardan ortaya çıkan sonucu kabul etmeyi kesinlikle reddetti. Friedmann ve Lemaitre'ın Bölüm 8'de incelenen çalışmalarından önce Einstein da genel görelilik denklemlerinin, evrenin durağan olamayacağını gösterdiğinin farkındaydı; uzayın dokusu gerilip büzülebilirdi, ama aynı boyutta kalmayı sürdüremezdi. Bu durum, evrenin dokusunun en çok büzülmüş olduğu, belirli bir başlangıcı olabileceğini ve hatta belirli bir sonu olabileceğine işaret ediyordu. Einstein genel göreliliğin bu sonucu karşısında inatçı bir şekilde durdu ve ilerlemeyi reddetti, çünkü o ve herkes evrenin sonsuz olduğuna, en büyük ölçeklerde sabit ve değişmez olduğuna "emindi". Bu yüzden, genel göreliliğin güzelliği ve başarısına rağmen Einstein defterini yeniden açtı ve denklemlerde, hâkim olan önyargıya izin verecek bir değişiklik yapıp yapamayacağını aramaya başladı. Bu arayış çok uzun sürmedi. 1917 de genel görelilik denklemlerine yeni bir kavram sokarak amacına ulaştı: Kozmolojik sabit.

Einstein'ın bu değişikliği yapmaktaki stratejisini anlamak zor değildir, iki nesne arasındaki kütleçekimi kuvveti; bunlar ister beyzbol toplan olsun isterse gezegenler veya yıldızlar, çekicidir; sonuçta kütleçekimi, nesneleri birbirlerine doğru çekmeye çalışır. Dünya ile yukarıya doğru sıçrayan bir dansçı arasındaki kütleçekimi, dansçının yavaşlamasına, en yüksek noktasına ulaştıktan sonra da geriye, Dünyaya doğru düşmesine neden olur. Eğer bir koreograf, dansçının havada durduğu bir gösteri planlamak isterse, Dünya ile dansçı arasında, ikisinin arasındaki kütleçekimi kuvvetini tam olarak dengeleyen bir itme kuvveti olması gerekir: Bu durum ancak çekme ve itme kuvvetleri arasında tam bir denge varsa gerçekleşebilir. Einstein aynı mantığın bütün evren için de geçerli olduğunu anlamıştı. Kütleçekimi kuvveti nasıl dansçının yükselmesini yavaşlatıyorsa, uzayın genişlemesini de yavaşlatırdı. Kütleçekimini dengeleyen itici bir kuvvet olmaksızın nasıl

dansçı havada duramazsa, evren de sabit bir boyutta kalamazdı. Einstein kozmolojik sabiti ortaya attı, çünkü bu terim denklemlere girdiği zaman, kütleçekiminin böyle itici bir kuvvet sağladığını bulmuştu.

Acaba bu matematiksel terimin fiziksel anlamı nedir? Kozmolojik sabit nedir, yapısı nasıldır, normal kütleçekimine karşı koyarak itici bir kuvvet uygulamayı nasıl başarır? Einstein'ın çalışmasının modern metni - Lemaitre'a kadar giden bir metin- kozmolojik sabiti, birörnek ve türdeş olarak bütün uzayı dolduran, egzotik bir enerji türü olarak yorumluyor. "Egzotik" diyorum çünkü Einstein'ın çözümlemesi bu enerjinin nereden gelebileceğini belirlemiyor ve kısa bir süre sonra göreceğimiz gibi, kullanılan argümanların matematiksel tanımları, bunun proton, nötron, elektron ya da toton gibi tanıdık parçacıklardan oluşmayacağını kesinlikle belirtiyor. Einstein'ın kozmolojik sabitinin anlamını tartışırken günümüzün fizikçileri "uzayın kendi enerjisi" veya "karanlık enerji" deyimlerini kullanıyorlar, çünkü eğer bir kozmolojik sabit olsaydı; uzay, doğrudan göremeyeceğimiz, saydam ve amorf bir şeyle dolu olurdu; kozmolojik sabitle dolu olan uzay, hâlâ karanlık görünürdü. (Bu, eskinin esir kavramını ve uzayda sıfırdan farklı bir değer alan, daha yeni Higgs alanı kavramını andırıyor. Kozmolojik sabitle Higgs alanları arasında yakında inceleyeceğimiz yakın bir bağlantı olduğundan, bu ikinci benzerlik yalnızca rastlantı olamaz.) Yine de, kozmolojik sabitin kaynağını ve kimliğini belirlemeden bile, Einstein bunun kütleçekimsel sonuçlarını ortaya koyabildi ve çok önemli bir sonuca ulaştı.

Bu sonucu anlamak için, genel göreliliğin henüz üzerinde durmadığımız bir özelliğinden haberdar olmanız gerekir. Kütleçekimine Newton'un yaklaşımında iki cisim arasındaki kuvvet yalnızca iki şeye bağlıdır: Kütleleri ve aralarındaki uzaklık. Cisimler ne kadar büyük kütleli ve birbirine yakınsa, aralarındaki kütleçekimi kuvveti de o kadar büyüktür. Genel görelilikteki durum da çok benzerdir ama Einstein'ın denklemleri, Newton'un kütleye odaklanmasının çok sınırlı olduğunu gösteriyor. Genel göreliliğe göre, kütleçekimi alanının şiddetine katkıda bulunan faktör, yalnızca cisimlerin kütlesi (ve aralarındaki uzaklık) değildir. Enerji ve basımcın da katkıları vardır. Bu, önemli olduğundan bir an durup ne anlama geldiğini anlamaya çalışalım.

Yirmibeşinci yüzyılda olduğunuzu ve beyaz-yakalı suçluları disiplin altında tutmaya yönelik olarak beceriye dayalı bir yaklaşımı deneyen, en yeni Düzeltmeler Bölümü nün, Akıl Salonu adı verilen deney odasında

tutulduğunuzu varsayın. Mahkûmların yeniden özgürlüklerine kavuşmalarının tek yolu, kendilerine verilen bulmacaları çözmek. Komşu hücredeki mahkûm, Gilligan Adası'nın yeni versiyonlarının neden yirmi ikinci yüzyılda sürpriz bir şekilde geri geldiğini ve o zamandan beri çok popüler olduğunu bulmaya çalışıyor. Bu yüzden burada daha epeyce kalacak gibi. Sizin bulmacanızsa daha basit. Size iki tane altın küp verilmiş. Boyutları aynı olan bu küpler tam olarak aynı miktarda altından yapılmış. Sizin yapmanız istenen şey, bunları çok hassas bir teraziye koyduğunuzda farklı ağırlıkta olmalarını sağlamak. Küplerdeki altın miktarını değiştirmenize kesinlikle izin yok, o nedenle kazıma, yontma, lehimleme gibi işlemler yapamazsınız. Eğer bu bulmacayı Newton a sormuş olsaydınız, anında bir çözümü olmadığını söylerdi. Newton yasalarına göre, aynı altın miktarları aynı kütlelere karşılık gelir. Her iki küp de aynı terazinin üzerinde olduğundan, üzerlerine etki eden kütleçekimi kuvveti aynı olacaktır. Newton, bu durumda küplerin ağırlığının aynı olduğu sonucuna varacaktır. Bunda herhangi bir "eğer" , "ve", "ama" olamaz.

Ama siz, yirmi beşinci yüzyıl lise genel görelilik bilginizle bir çıkış yolu buluyorsunuz. Genel görelilik, iki cismin arasındaki kütleçekimi kuvvetinin yalnızca cisimlerin kütlesine (ve aralarındaki uzaklığa) değil, her iki cismin toplam enerjisine olan bütün katkılara da bağlı olduğunu göstermiştir. Şimdiye kadar altın küplerin sıcaklığından hiç söz etmedik. Sıcaklık, ortalama olarak, her küpü oluşturan altın atomlarının ne kadar hızla sağa-sola hareket ettiklerinin -atomların ne kadar enerjik olduklarının- bir ölçüsüdür (atomların kinetik enerjilerini verir). Bu nedenle, eğer küplerden birini ısıtırsanız, atomları daha enerjik olacağı için, soğuk küpe oranla biraz daha ağır geleceğini fark ediyorsunuz. Bu, Newton'un haberdar olmadığı bir gerçekti (sıcaklıkta 10 derece Celsius'luk bir artış, 1 kilogramlık bir küpün kütlesini bir kilogramın milyon kere milyarda biri kadar artırır, yani artış çok küçüktür), bu çözümle özgürlüğünüze kavuşuyorsunuz.

Yani, neredeyse kavuşuyordunuz. Sizin suçunuz biraz ağırca olduğundan, son dakikada kurul sizin ikinci bir bulmaca çözmeniz gerektiğine karar veriyor. Size birbirinin eşi olan iki tane eski moda, kapağı açılınca içinden yaya bağlı bir bebek fırlayan kutu veriliyor. Şimdi de yapmanız gereken, bu ikisinin ağırlıklarının farklı olması için bir yol bulmak. Ama bu sefer, hem nesnelerdeki madde miktarını değiştirmeniz yasak, hem de her ikisini tam olarak aynı sıcaklıkta tutmak zorundasınız. Eğer Newton'a bu bulmaca verilmiş olsaydı, ömrünün sonuna kadar burada kalırdı. Oyuncakların

kütlesi aynı olduğu için, ağırlıklarının da aynı olacağı ve bulmacanın çözümsüz olduğu sonucuna varırdı. Ama genel görelilik bilginiz bir kere daha imdadınıza yetişiyor: Oyuncaklardan birindeki yayı sıkıştırarak bebeği kutuya sokuyor, diğerinde ise yayı gevşek, bebeğiyse dışarıda bırakıyorsunuz. Neden? Elbette sıkıştırılmış yay sıkıştırılmamış olana oranla daha fazla enerjiye sahiptir; yayı sıkıştırmak için kuvvet uygulamak zorundasınız ve sıkıştırılmış yayın kutunun kapağına basınç yaparak kapağı hatifçe yukarı doğru kaldırması harcadığınız çabanın bir kanıtıdır. Gene, Einstein'a göre, fazladan herhangi bir miktar enerji, kütleçekimini etkiler ve fazladan ağırlık yapar. Bu yüzden yayı sıkıştırılmış durumda olan kapağı kapalı oyuncak, yayı gevşek ve kapağı açık oyuncağa göre biraz daha ağır gelir. Newton bunu fark edemezdi. Sonunda gerçekten özgürlüğünüze kavuşuyorsunuz.

İkinci bulmacanın çözümü, genel göreliliğin peşinde olduğumuz, zor fark edilen ama kritik bir özelliğinin ipucunu verir. Genel göreliliği anlattığı makalesinde Einstein, matematiksel olarak, kütleçekiminin yalnızca kütleye ve yalnızca enerjiye (ısı gibi) değil, uygulanabilecek herhangi bir basınca da bağlı olduğunu göstermişti. Eğer kozmolojik sabiti anlamak istiyorsak, ihtiyacımız olan temel fizik işte budur. Nedeni şöyle. Sıkıştırılmış yayın uyguladığı gibi dışarı doğru yönlenmiş olan basınca pozitif basınç denir. Pozitif basınç, doğal olarak, kütleçekimine pozitif katkı yapar. Ama kritik nokta şudur ki, bir bölgedeki basıncın, kütle ve toplam enerjiden farklı olarak negatif olduğu durumlar vardır, yani basınç dışarı doğru itmek yerine içeri doğru emer. Her ne kadar kulağa özel olarak egzotik gibi geliyorsa da, negatif basınç, genel göreliliğin bakış açısından olağanüstü bir şeyle sonuçlanır: Pozitif basınç, bildiğimiz, çekici kütleçekimine katkıda bulunurken, negatif basınç "negatif kütleçekimine yani itici kütleçekimine katkıda bulunur!

Bu sersemletici kavrayış, kütleçekiminin her zaman çekici bir kuvvet olduğu yolundaki iki yüz yıldan daha eski inançta bir yara açtı. Gezegenler, yıldızlar ve galaksiler, elbette Newton'un doğru bir biçimde gösterdiği gibi çekici kütleçekimi uygularlar. Ama basınç önemli olduğunda (gündelik koşullar altındaki sıradan maddede basıncın kütleçekimine katkısı ihmal edilebilir düzeydedir) ve özellikle basınç negatif olduğunda (proton ve elektronlardan oluşan normal maddede basınç pozitiftir, kozmolojik sabitin bildiğimiz bir şeyden oluşamamasının nedeni budur) kütleçekimine Newton'a şok geçirtebilecek bir katkı yapar, iticidir.

Bu sonuç, bundan sonra anlatılacakların çoğu için çok önemli olduğu ve kolaylıkla yanlış anlaşılabileceği için, bir temel noktayı vurgulamak isterim. Kütleçekimi ve basınç, bu öyküde birbirleri ile ilişkili ama farklı iki karakterdir. Basınçlar, ya da daha doğru bir deyişle basınç farkları, kütleçekimsel olmayan kendi kuvvetlerini uygulayabilirler. Suya daldığınızda kulak zarlarınız dışarıdan iten suyla içeriden iten havanın basınçları arasındaki farkı algılayabilir. Bu tümüyle doğrudur. Ama şimdi kütleçekimi ve basınç hakkında söyleyeceklerimiz bunlardan çok farklıdır. Genel göreliliğe göre, basınç dolaylı yoldan bir kuvvet daha uygulayabilir -kütleçekimi kuvveti uygulayabilir- çünkü basınç kütleçekimi alanına katkıda bulunur. Basınç da madde ve enerji gibi bir kütleçekimi kaynağıdır. Önemli olan şu ki, eğer bir bölgede basınç negatifse, bölgeyi kaplayan kütleçekimi alanına çekme yönünde değil de, itme yönünde katkıda bulunur.

Bunun anlamı da basınç negatif olduğunda normal kütle ve enerjiden kaynaklanan çekici kütleçekimi ile negatif basınçtan kaynaklanan egzotik, itici kütleçekimi arasında bir rekabetin ortaya çıkacağıdır. Eğer bir bölgedeki negatif basınç yeterince negatifse, itici kütleçekimi üstün gelecektir; her şeyi birbirine doğru çekmek yerine birbirinden uzaklaştırmak için itecektir. İşte kozmolojik sabitin öyküye girdiği yer burasıdır. Einstein'ın genel görelilik denklemlerine eklediği kozmolojik terim, uzayın birörnek enerjiyle dolu olduğu anlamına gelir ama çok önemli olarak, denklemler bu enerjinin birörnek, negatif bir basınca sahip olduğunu gösterirler. Dahası, kozmolojik sabitin negatif basıncının kütleçekimsel itmesi, pozitif enerjisinden gelen kütleçekimsel çekmeyi yener ve böylece itici kütleçekimi bu rekabetten üstün çıkar: Kozmolojik sabit itici kütleçekimi kuvveti uygular.'

Bu, Einstein'ın tam da istediği şeydi. Evrene dağılmış halde bulunan sıradan madde ve ışınım, çekici kütleçekimi kuvveti uygulayarak uzayın her bölgesinin diğerlerini çekmesine neden olur. Einstein'ın evrene birörnek dağıldığını düşündüğü yeni kozmolojik terim itici kütleçekimi uygulayarak uzayın her bölgesinin diğer bölgeleri itmesine neden olur. Einstein, yeni terimin boyutunu dikkatlice seçerek normal, çekici kütleçekimi ile yeni keşfedilen itici kütleçekimini çok hassas bir şekilde dengeleyebileceğini ve ortaya durağan bir evren çıkarabileceğini buldu.

Üstelik yeni, itici kütleçekimi uzayın kendisinin enerji ve basıncından kaynaklandığı için Einstein bunun şiddetinin birikici olduğunu buldu;

büyük uzaysal uzaklıklarda bu kuvvet daha güçlenir, çünkü arada daha büyük bir uzay bölgesinin bulunması, daha fazla itme demektir. Einstein, Dünyamızın ve bütün Güneş sisteminin uzaklık ölçeklerinde bu yeni itici kütleçekimi kuvvetinin çok küçük olduğunu gösterdi. Bu yeni kuvvet, ancak çok büyük kozmolojik uzaklıklarda önemli hale gelir, böylece yakın çevreye uygulandığında hem Newton kuramı hem de Einstein'ın genel görelilik kuramı başarılı olmayı sürdürür. Kısacası, Einstein'ın bu konudaki başarısı katmerli oldu: Hem genel göreliliğin cazip ve deneylerce doğrulanmış olan özelliklerinin korunmasını sağladı, hem de hiç genişlemeyen ve büzülmeyen, değişmeyen bir evrenin ebedi huzurunun keyfini çıkarması mümkün hale geldi.

Bu sonuçla hiç kuşkusuz Einstein derin bir nefes almış olmalı. Eğer genel göreliliğin formülleştirilmesine adadığı ve on yıl süren yorucu araştırmaların, gece gökyüzüne bakan birinin çok açık olarak gördüğü durağan evrenle tutarlı olmadığı ortaya çıksaydı, bu son derece üzücü olurdu. Ama görmüş olduğumuz gibi, hikâye on yıl sonra bambaşka bir şekil aldı. 1929'da Hubble üstünkörü gece gözlemlerinin yanıltıcı olabileceğini gösterdi. Hubble'ın sistematik gözlemleri evrenin durağan olmadığını, genişlediğini ortaya koydu. Eğer Einstein genel göreliliğin özgün denklemlerine güvenmiş olsaydı, evrenin genişlemekte olduğunu, gözlemsel olarak keşfedilmesinden on yıldan daha uzun bir zaman önce kuramsal olarak bulmuş olacaktı. Elbette bu, tüm zamanların en büyük keşiflerinden biri -hatta en büyük keşfi- olabilirdi. Hubble'ın elde ettiği sonuçları öğrendikten sonra Einstein, kozmolojik sabiti düşündüğü gün için pişman oldu ve bu sabiti genel görelilik denklemlerinden büyük bir dikkatle çıkardı. Herkesin bu hazin olayı unutmasını diledi ve on yıllar boyunca herkes unuttu da.

Ama 1980'lerde kozmolojik sabit şaşırtıcı, yepyeni bir biçimde geri dönüş yaptı ve insanların kozmolojiyle ilk uğraşmaya başladığı günden beri, kozmoloji düşüncesindeki en büyük altüst oluşun habercisi oldu.

Sıçrayan Kurbağalar ve Süper Soğuma Üzerine

Eğer yukarıya doğru yükselmekte olan bir beyzbol topu gördüyseniz, Newton'un kütleçekimi yasasını (veya Einstein'ın daha rafine denklemlerini) kullanarak topun daha sonraki yörüngesini

belirleyebilirsiniz. Eğer gerekli hesapları yaparsanız, topun hareketini son derece somut bir şekilde kavrarsınız. Ama geriye hâlâ cevaplanmamış bir soru kalır: Her şeyden önce bu topu yukarıya fırlatan kimdir veya nedir? Sonraki gelişimini matematiksel olarak değerlendirdiğiniz, yukarı doğru olan bu hareketi top başlangıçta nasıl kazanmıştır? Bu örnekte, cevabı bulmak için gereken şey, birazcık daha araştırmaktır (tutkulu büyük-lig oyuncuları biraz önce vurdukları topun, park halindeki bir Mercedes'in ön camına doğru gittiğini anlamadıkları sürece). Ama bu sorunun daha zor bir benzeri, genel göreliliğin evrenin genişlemesine getirdiği açıklamayı zor durumda bırakır.

Özgün olarak Einstein, Hollandalı fizikçi Willem de Sitter ve daha sonraları Friedmann ve Lemaître tarafından gösterildiği gibi, genel göreliliğin denklemleri evrenin genişlemesini mümkün kılar. Ama tıpkı Newton denklemlerinin topun yukarı doğru olan hareketinin nasıl başladığı konusunda hiçbir ipucu vermemesi gibi, Einstein'ın denklemleri de evrenin nasıl genişlemeye başladığı konusunda bir ipucu vermez. Kozmologlar yıllar boyunca uzayın başlangıçtaki genişlemesini, açıklanamayan bir veri olarak aldılar ve denklemleri oradan başlayarak uyguladılar. Daha önce Büyük Patlama'nın, patlamanın kendisi konusunda sessiz kaldığını söylerken bunu kastetmiştim.

1979 Aralık ayında, her şeyin değiştiği o geceye kadar durum böyleydi. O gece, Stanford Doğrusal İvmelendirici Merkezi'nde (Stanford Linear Accelerator Center) fizik konusunda doktora sonrası çalışmaları yapan Alan Guth (şimdi MIT'de profesördür), bundan daha iyisinin yapılabileceğini gösterdi. Çok daha iyisinin yapılabileceğini. Her ne kadar bugün, neredeyse yirmi beş yıldan daha uzun bir süre sonra bile henüz tam olarak çözülmemiş olan ayrıntılar varsa da, Guth, Büyük Patlamaya herkesin beklediğinden daha büyük bir patlama sağlayarak kozmolojik sessizliğe bir son verdi.

Guth kozmoloji eğitimi almamıştı. Uzmanlık alanı parçacık fiziğiydi ve 1970'lerin sonlarında Cornell Üniversitesi'nden Henry Tye ile birlikte büyük birleşik kuramlardaki Higgs alanlarının çeşitli özellikleri üzerinde çalışıyordu. Geçen bölümdeki, Higgs alanının değeri sıfırdan farklı, özel bir sayıya (potansiyel enerji kâsesinin ayrıntılı şekline bağlı olan bir sayı) oturduğunda, uzayın bir bölgesindeki olası en düşük enerji düzeyine katkıda bulunduğu, kendiliğinden simetri kırılması tartışmasını hatırlayın. Evrenin ilk anlarında, sıcaklık olağanüstü yüksekken, Higgs alanının değerinin, tıpkı sıcak bir kâsenin içine düştüğünde bacakları yandığı için can havliyle

sıçrayan bir kurbağa gibi bir değerden diğerine şiddetle sıçradığını, ama evren soğurken Higgs'in de kâsenin dibine doğru kayarak enerjisini nasıl en düşük değere indirdiğini görmüştük.

Guth ve Tye, Higgs alanının en düşük enerjili duruma (Şekil 9.1c'deki kâsenin vadisi) ulaşmakta neden geç kalmış olabileceği sorusu üzerinde çalışıyorlardı. Eğer kurbağa benzetmesini Guth ve Tye'ın sordukları soruya uyarlarsak şöyle olur: Eğer kâse soğumaya başlamadan önceki sıçramalarından birinde, kurbağa kendini merkezdeki düzlük üzerinde bulsaydı ne olurdu? Kâse soğumaya devam ederken kurbağa kâsedeki vadiye kaymak yerine merkezdeki düzlükte oturuyor (ve sakin bir şekilde kurtları yiyor) olsaydı ne olurdu? Veya fiziğin diliyle söylersek, dalgalanan Higgs alanının değeri, enerji kâsesinin merkezdeki düzlüğüne oturmuş olsaydı ve evren soğumaya devam ederken orada kalsaydı ne olurdu? Eğer bu olursa, fizikçiler Higgs alanının süper soğumuş olduğunu söylerler ki, bu da, evrenin sıcaklığı Higgs alanının düşük-enerjili vadiye yaklaşmasını beklediğiniz noktanın altına düşmüş bile olsa, daha yüksek-enerjili bir durumda yakalanmış olarak kaldığı anlamına gelir. (Bu, yüksek derecede saflaştırılmış suyun davranışına benzer. Sıfır derecenin altına süper soğutulursa saf su donmaz ve sıvı halde kalmayı sürdürür, çünkü buzun oluşması, çevresinde kristallerin büyüyebileceği küçük safsızlıklar gerektirir.)

Guth ve Tye bu olasılıkla ilgileniyorlardı, çünkü hesapları bu olasılığın, araştırmacıların büyük birleşme konusundaki çeşitli girişimlerde karşılaştıkları bir problemle (manyetik tek kutup problemi) ilgili olabileceğini gösteriyordu. Ama Guth ve Tye bunun başka bir sonucu olabileceğini fark ettiler ki çalışmalarını çok önemli kılan da bu oldu. Süper soğumuş Higgs alanıyla ilişkili olan enerjinin -hatırlarsanız, alanın yüksekliği enerjisini temsil ediyordu, bu yüzden yalnızca değeri kâsenin vadisinde olduğunda alanın değeri sıfır oluyordu- evrenin genişlemesi üzerinde bir etkisi olabileceğinden kuşkulandılar. 1979 Aralığının ilk günlerinde Guth bu önsezisini izledi. Bulduğu şuydu.

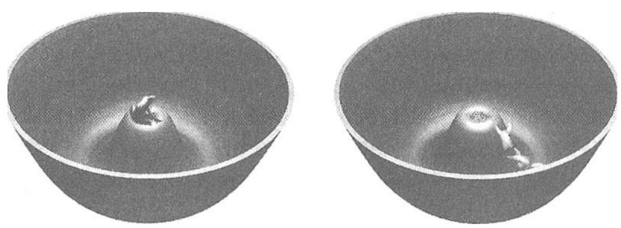
Düzlükte kalmış olan bir Higgs alanı yalnızca uzayı enerjiyle doldurmakla kalmaz. Guth, hayati öneme sahip olacak şekilde bu alanın, birörnek bir negatif basınca katkıda bulunduğunu fark etti. Aslında, enerji ve basınç göz önüne alındığında, düzlükte kalmış olan bir Higgs alanının, kozmolojik sabit ile aynı özelliklere sahip olduğunu buldu: Böyle bir alan, uzayı enerji ve negatif basınçla doldurur ve bunu kozmolojik sabit ile aynı

oranlarda yapar. Böylece, Guth süper soğumuş bir Higgs alanının uzayın genişlemesi üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koydu: Higgs alanı kozmolojik sabit gibi uzayı genişleten, itici bir kütle çekimi uygular.

Bu noktada, zaten negatif basınç ve itici kütleçekimini bildiğinizden, şöyle düşünebilirsiniz: Tamam, Guth'un Einstein'ın kozmolojik sabit rüyasını gerçekleştirmek için fiziksel bir mekanizma bulmuş olması güzel bir şey, ama ne olmuş yani? Bunun neresi büyük iş? Kozmolojik sabit kavramı uzun süre önce terkedilmişti. Fiziğe sokulması Einstein'ın bir utancıdır. Altmışyıl önce gözden düşmüş olan bir şeyin yeniden keşfedilmesi yüzünden duyulan bu heyecan neden?

Şişme

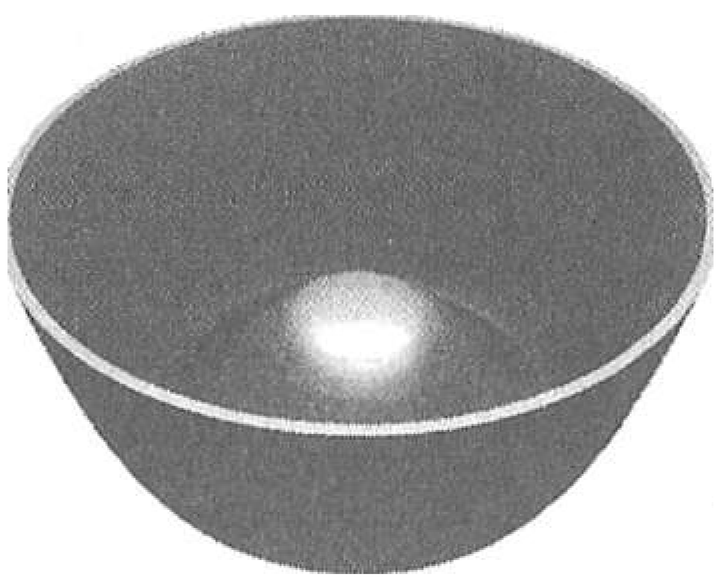
Nedeni şu. Her ne kadar süper soğumuş bir Higgs alanı, koz-molojik sabitle bazı özellikleri paylaşıyorsa da, Guth bunların tam olarak aynı olmadıklarını fark etti. Aralarında iki kilit fark vardı ve bunlar da fark yaratan farklardı.



Şekil 10.1 (a) Süper soğumuş bir Higgs alanı, tümsekteki kurbağa gibi, enerji kâsesinin yüksek-enerji düzlüğünde kalmış bir alandır, (b) Tipik bir biçimde, süper soğumuş bir Higgs alanı, tıpkı tepeden sıçrayan bir kurbağa gibi, bir yolunu bulup, daha düşük bir enerji değerine düşecektir.

Birincisi, kozmolojik sabit bir sabitken -zamanla değişmez, bu yüzden dışarı doğru değişmeyen bir itme oluşturur- süper soğumuş bir Higgs alanı sabit olmak zorunda değildir. Şekil 10.la daki tümsekte oturan bir kurbağa olduğunu varsayın. Kurbağa orada bir süre oturabilir ama er geç şu veya bu yöne doğru bir sıçrama -bu sıçrama kâse sıcak olduğu için yapılan bir sıçrama değildir (çünkü artık kâse sıcak değildir), ama kurbağa bir süre sonra huzursuzlanacaktır- kurbağayı tümsekten öteye yöneltecek, sonra da

Şekil 10.1b'deki gibi kâsenin en alçak noktasına doğru kayacaktır. Bir Higgs alanı da buna benzer şekilde davranabilir. Sıcaklık, önemli bir ısıl çalkalanma yaratamayacak kadar alçalmışken Higgs alanının bütün uzaydaki değeri enerji kâsesinin merkezindeki tümsek üzerinde kalmış olabilir. Ama kuantum süreçleri nedeniyle Higgs alanının değerinde rasgele sıçramalar olacaktır ve yeterince büyük bir sıçrama onu tümsekten uzaklaştıracak, enerjisi ve basıncının sıfıra düşmesine neden olacaktır. Guth'un hesapları, kâsenin tümseğinin tam şekline bağlı olarak, bu sıçramanın çok kısa bir sürede, belki de 0,00000000000000000000000000000001 (10-35) saniyede olmuş olabileceğini gösterdi. Sonra, o zamanlar Moskova'daki Lebedev Fizik Enstitüsü'nde çalışmakta olan Andrei Linde ve gene o zamanlar öğrencisi Andreas Albrecht ile birlikte Pennsylvania Üniversitesi'nde çalışmakta olan Paul Steinhardt, Higgs alanının sıfır enerjiye düşmesi ve bütün uzaydaki basıncın daha etkili ve bir hayli daha birörnek olmasının bir yolunu keşfettiler (aynı zamanda Guth'un özgün önerisinin bazı teknik sorunlarını da çözmüş oldular"). Potansiyel enerji kâsesinin Şekil 10.2'deki gibi daha düzgün ve daha az eğimli olması durumunda, kuantum sıçramasına gerek olmadığını gösterdiler: Higgs alanının değeri tıpkı tepeden aşağı yuvarlanan bir top gibi vadiden aşağı yuvarlanacaktı. Uzun sözün kısası, eğer Higgs alanı bir kozmolojik sabit gibi davranmış olsa bile, bunu kısa bir süre için yapmıştı.



Şekil 10.2 Daha düzgün ve daha az eğimli bir tümsek, Higgs alanının uzayda daha kolay ve daha birörnek bir şekilde sıfır-enerjiye düşmesine olanak verir.

İkinci fark, Einstein kozmolojik sabitin değerini -uzayın her hacmine katkıda bulunan enerji miktarı ve negatif basınç- bundan kaynaklanan itme kuvveti evrendeki normal madde ve ışınımdan kaynaklanan çekme kuvvetini dengeleyecek şekilde dikkatle ve istediği gibi seçtiği halde, Gulh, kendisinin ve Tye'ın üzerinde çalıştıkları Higgs alanının katkıda bulunduğu enerji ve negatif basıncı hesaplayabiliyordu. Bulduğu cevap Einstein'ın seçtiği değerden 1000000000000000000000000000000000000 0000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000 000 (10100) kattan daha büyüktü. Açıkça görüldüğü gibi bu, dev bir sayıdır, bu yüzden Higgs alanının itici kütleçekiminin yarattığı dışarı doğru itme, Einstein'ın kozmolojik sabit ile gözünde canlandırdığı değerle karşılaştırıldığında devasa boyutlardadır.

Şimdi, eğer bu iki gözlemi -yani Higgs alanının yalnızca çok kısa süreler için ortadaki tümsekte, yüksek enerjili, negatif- basınçlı durumda kalacağı ve tümsekte iken yarattığı itme kuvvetinin çok büyük olduğu yolundaki gözlemleri- birleştirecek olursak, ortaya çıkan nedir? Guth'ın da fark ettiği gibi, ortaya olgusal, kısa süreli, dışarı doğru bir patlama çıkar. Başka bir deyişle, tam olarak Büyük Patlama kuramında olmayan şeyi buluruz: Bir patlama ve üstelik büyük bir patlama. Guth'ın keşfinin heyecan uyandıracak bir şey olmasının nedeni budur.

Guth'ın büyük keşfinden sonra ortaya çıkan kozmoloji manzarası şöyleydi. Uzun zaman önce, evrenin yoğunluğu olağanüstü yüksekken, enerjisini taşıyan şey, potansiyel enerji kâsesinin en düşük noktasından uzak bir değerde kalmış olan bir Higgs alanıydı. Bu özel Higgs alanını diğerlerinden (bilinen parçacık türlerinin kütlelerinden sorumlu olan elektrozayıf Higgs alanı veya büyük birleşme kuramlarında ortaya çıkan Higgs alanları gibi) ayırt edebilmek için, bu alan genellikle inflaton (şişmeparçacığı) alanı olarak adlandırılır. Negatif basıncı nedeniyle inflaton alanı, uzayın her noktasını diğerlerinden uzağa doğru sürükleyen devasa bir kütleçekimsel itme yarattı; Guth'ın diliyle söylersek, inflaton evreni şişmeye zorladı. İtme yalnızca 10-35 saniye sürdü ama öylesine güçlüydü ki, bu kısacık anda evren dev bir oranda şişti. İnflaton alanının potansiyel enerjisinin tam şeklinin ayrıntılarına bağlı olarak evren, kolayca 110 3 0, 1050 veya 10100 kat genişlemiş olabilir.

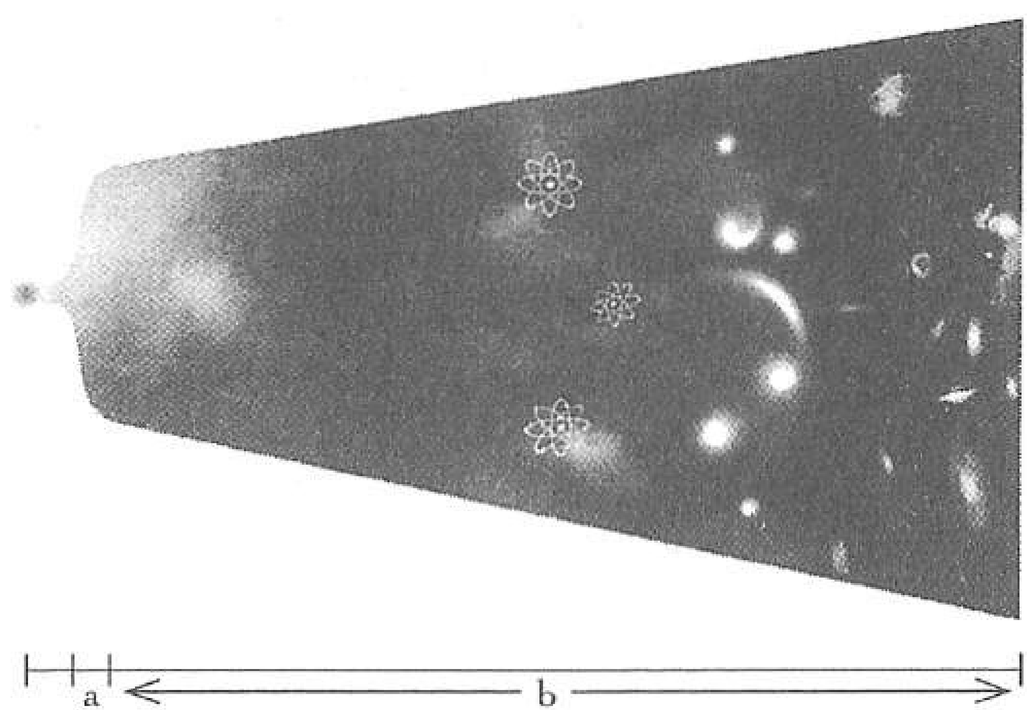
Bunlar, akıllara durgunluk verici sayılardır. 1030 kat değerindeki bir genişleme faktörü -ki bu, tutucu bir tahmindir- bir DNA molekülünün yaklaşık olarak Samanyolu galaksisinin boyutlarına gelmesi demektir ve bu genişleme, bir göz kırpma süresinin milyar kere milyar kere milyarda birinden daha kısa bir zamanda gerçekleşmiştir. Bir karşılaştırma yapmak istersek, bu tutucu genişleme faktörü bile, standart Büyük Patlama kuramına göre aynı sürede ortaya çıkan genişlemeden milyarlarca ve milyarlarca kat daha büyüktür ve sonraki 14 milyar yılda ortaya birikici bir biçimde çıkan toplam genişleme faktörünü de geçer! Hesaplanan genişleme faktörünün 1030'dan daha büyük olduğu pek çok şişme modelinde ortaya çıkan uzaysal genişleme o kadar büyüktür ki, en güçlü teleskoplarla bile olsa görebildiğimiz evren, tüm evrenin yalnızca çok küçük bir bölümüdür. Bu modellere göre evrenin çok büyük çoğunluğundan yayılan ışınlar henüz bize ulaşmış olamaz, çoğu da Güneş ve Dünya'nın ölümlerinin çok çok sonrasına kadar ulaşamayacaktır. Eğer bütün evren Dünya'nın boyutlarına kadar küçültülebilseydi, bizim ulaşabileceğimiz bölgenin boyutları bir kum tanesininkini geçmezdi.

Patlamanın başlamasından kabaca 10-35 saniye sonra alan tümsekten kaydı ve uzaydaki değeri kâsenin dibine ulaşarak itici kuvveti durdurdu. İnflaton değeri aşağıya kayarken, hapsolan enerjisi de genişleyen uzayı birörnek dolduran, sıradan madde parçacıkları ve ışınım -otların üzerinde yoğunlaşarak sabah şebnemine dönüşen puslu sis gibi- üretimine gitti. Bu noktadan sonra öykü, esas olarak standart Büyük Patlama kuramınınki ile aynıdır: Patlamanın yan etkisi olarak uzay genişlemeye ve soğumaya devam etmiş, parçacıklar da kümelenerek galaksi, yıldız, gezegen gibi yapılara dönüşmüş ve Şekil 10.3'te gösterildiği gibi, şimdi gördüğümüz evren ortaya çıkmıştır.

Guth'ın keşfi -şişme kozmolojisi- Linde, Albrecht ve Steinhardt'ın önemli katkılarıyla uzayı neyin genişlettiği sorusuna bir cevap vermiştir. Sıfır enerjisinin üzerinde bir değere yerleşen bir Higgs alanı, uzayın şişmesine neden olan patlamayı tetikleyebilir. Guth, Büyük Patlama'nın patlamasını ortaya çıkarmıştı.

Şişmesel Formülasyon

Guth'ın keşfi hızla, büyük bir ilerleme olarak kabul gördü ve kozmoloji araştırmalarının en büyük demirbaşı haline geldi. Ama bu keşifte iki şeye dikkat etmek gerekir. Birincisi, standart büyük patlama modelinde patlamanın sıfır anında, evrenin en başlangıcında gerçekleştiği varsayılır, bu yüzden de ona "yaratan olay" gözüyle bakılır. Ama nasıl bir dinamit çubuğu, fitili ancak uygun bir biçimde tutuşturulduğu zaman patlarsa, şişme kozmolojisinde de patlama, koşullar uygun hale geldiğinde -değeri, itici kütleçekiminin dışarı doğru patlamasını tetikleyen enerji ve negatif basıncı sağlayan bir inflaton alanı olduğunda ortaya çıkmıştır ve evrenin "yaratılması" ile çakışıyor olmak zorunda değildir. Bu nedenle, şişme patlamasının mutlaka evreni yaratan olay olmak zorunda olmadığını, önceden var olan bir ev-rende gerçekleşmiş olduğunu düşünmek daha doğrudur. Bunu Şekil 10.3' te gösterdik. Asıl kaynak konusunda hâlâ sürmekte olan bilgisizliğimizi simgelemek üzere: Özellikle, eğer şişme kozmolojisi doğru ise, neden bir inflaton alanının var olduğunu, neden potansiyel enerji kâsesinin şişmenin ortaya çıkması için uygun şekle sahip olduğunu, neden tüm bu tartışmaların içinde yer aldığı uzay ve zamanın var olduğunu ve Leibniz'in deyimiyle neden hiçbir şey yerine bir şeyler olduğunu bilmediğimiz için, Şekil 9.2'deki bulanık alanın bir bölümünü koruduk.



Şekil 10.3 (a) Şişme kozmolojisi evren tarihinin ilk dönemlerine hızlı, devasa bir genişleme patlaması ekler, (b) Bu hızlı genişlemeden sonra evrenin evrimi, Büyük Patlama modelinin öngördüğü standart evrime dönüşür.

Bununla ilgili ikinci bir gözlem de, şişme kozmolojisinin tek ve benzersiz bir kuram olmadığıdır. Şişme kozmolojisi, kütleçekiminin itici olabileceği ve böylece uzayı genişletebileceği kavrayışının çevresine inşa edilmiş olan kozmolojik bir yapıdır. Patlamanın kesin ayrıntıları -ne zaman oldu, ne kadar sürdü, itmenin şiddeti, patlama sırasında evrenin genişleme faktörü, patlama yaklaştığında şişmenin bilinen maddeye depoladığı enerji miktarı vb.- inflaton alanının potansiyel enerjisinin, şu anda yalnızca kuramsal yaklaşımlarla bilebileceğimizin ötesinde olan boyutu ve şeklinin ayrıntılarına bağlıdır. Bu yüzden yıllar boyunca fizikçiler her olasılığı incelediler -potansiyel enerjinin çeşitli şekilleri, birbiri ardı sıra işleyen inflaton alam değerleri vb. ve hangi seçimlerin astronomi gözlemleri ile tutarlı kuramlar ortaya çıkardığını belirlediler. Önemli olan, şişme kozmolojisi kuramlarının, ayrıntıların üstüne çıkan ve bu yüzden de esas olarak her kavrayışta ortak olan özelliklerinin var olmasıdır. Patlamanın kendisi, tanım gereği böyle bir özelliktir ve bütün şişme kuramları patlama içerir. Ama standart Büyük Patlama kozmolojisine meydan okuyan önemli problemleri çözdükleri için, bütün şişme modellerinde ortak olan bir dizi başka, hayati özellik daha vardır.

Şişme ve Ufuk Problemi

Bu problemlerden ufuk problemi olarak bilinen biri, daha önce rastlamış olduğumuz mikrodalga fon ışınımının birörnekliği ile ilgilidir. Bize uzayda herhangi bir yönden ulaşan mikrodalga ışınımının sıcaklığının, bir başka yönden gelenle olağanüstü bir hassasiyetle (bir derecenin binde birinden daha küçük) aynı olduğunu hatırlayın. Bu gözlemsel gerçeklik çok önemlidir, çünkü uzaydaki türdeşliği kanıtlayarak evrenin kuramsal modellerinde inanılmaz bir basitleştirme olanağı sağlar. Daha önceki bölümlerde bu türdeşliği, uzayın olası şekillerinin sayısını azaltmak ve birörnek kozmik zamanı tartışmak amacıyla kullanmıştık. Problem, uzayın nasıl bu kadar birörnek olduğunu açıklamaya çalıştığımızda ortaya çıkar. Uzayın birbirinden bu kadar uzak bölgeleri kendilerini nasıl sıcaklıkları böylesine aynı olacak şekilde ayarlamış olabilirler?

Eğer geride, Bölüm 4'te anlatılanları düşünürseniz, olasılıklardan biri, tıpkı yerel olmayan bir kuantum bağlantısının, birbirinden çok uzakta bulunan parçacıkların spinlerini birbirlerine uydurduğu gibi, belki birbirinden çok uzak uzay bölgelerinin sıcaklıklarını da birbirine uydurmuş olması olabilir. Bu ilginç bir öneri olsa da, o bölümün sonunda tartışıldığı gibi, en kontrollü ortamların dışındakilerde bağlantının olağandışı zayıflaması, bunu olanaksız hale getirir. Tamam, belki de daha basit bir açıklama vardır. Nasıl aralarındaki kapı bir süre açık tutulduğunda sıcak bir mutfakla serin bir oturma odası aynı sıcaklığa geliyorsa, çok eskiden bu bölgeler birbirine çok yakınken sıcaklıkları yakın temas sonucunda da eşitlenmiş olabilir. Ama standart Büyük Patlama kuramında bu açıklama da başarısız oluyor. Bu konuda aşağıdaki gibi düşünülebilir.

Başlangıcından bugüne kadar kozmik evrimin tamamını gösteren bir film izlediğinizi varsayın. Filmi rasgele bir zamanda durdurun ve kendinize şunu sorun: Uzayda iki farklı bölge, tıpkı mutfak ve oturma odası gibi, birbirinin sıcaklığını etkilemiş olabilir mi? Aralarında ışık ve ısı alışverişi yapmış olabilirler mi? Cevap, iki şeye bağlıdır: Bu bölgelerin arasındaki uzaklık ve patlamadan o ana kadar geçmiş olan zaman. Eğer aralarındaki uzaklık ışığın Büyük Patlama'dan o ana kadar geçen süre içinde kat etmiş olabileceğinden azsa, bu bölgeler birbirlerini etkilemiş olabilir; fazlaysa, olamaz. Şimdi, gözlenebilir evrendeki bütün bölgelerin başlangıcın hemen sonrasında birbirleri ile etkileştiğini düşünebilirsiniz, çünkü filmi ne kadar geriye sararsak bölgeler birbirine o kadar yaklaşır ve etkileşmeleri de o kadar kolay olur. Ama bu çok acele verilmiş bir hükümdür; bu bölgelerin birbirine yakın olmakla birlikte, haberleşebilecekleri zamanın da daha az olduğu gerçeğini göz önüne almaz.

Gerçek bir çözümleme yapabilmek için, kozmik filmi geriye doğru oynatırken şu anda gözlenebilir evrenin birbirlerine çok uzak yerlerindeki iki bölgeye -birbirlerine şu anda etkileşiyor olamayacakları kadar uzak iki bölgeye- odaklandığınızı varsayın. Bu bölgelerin arasındaki uzaklığı yarıya düşürebilmek için, filmi başlangıca doğru yarıdan çok sarmak zorundayız. O zaman bu uzay bölgeleri birbirine daha yakın olmakla birlikte aralarındaki haberleşme gene de olanaksız olurdu: Uzaklıkları yarıya inerdi ama Büyük Patlama'dan o ana kadar geçen süre de günümüze kadar geçen sürenin yarısından daha az olurdu, ışık da şimdiye kadar aldığı yolun yarısından daha az yol alırdı. Benzer biçimde, filmdeki bu noktadan başlangıca doğru yarıdan daha fazla geriye sararak bu bölgeler arasındaki

uzaklığı yeniden yarıya indirdiğimizde, haberleşmeleri daha da güçleşir. Bu tür bir kozmik evrimle, bölgeler geçmişte birbirine daha yakın olsa bile, sıcaklıklarını bir şekilde eşitlemiş olmaları daha fazla -daha az değil- şaşırtıcı hale geliyor. Bu bölgeleri zamanda gittikçe daha fazla geriye doğru izlediğimizde, ışığın kat edebildiği yola göre, bölgelerin haberleşmesi git gide olanaksız hale geliyor.

Standart Büyük Patlama kuramında olup biten tam olarak budur. Standart Büyük Patlama da kütleçekimi yalnızca çekici bir kuvvet olarak davranır, bu yüzden başlangıçtan beri uzayın genişlemesini yavaşlatmaktadır. Şimdi, bir şey eğer yavaşlıyorsa, belirli bir uzaklığı kat etmesi için gereken zaman uzayacaktır. Örneğin, bir yarış atının çok hızlı çıkış yaparak yarış parkurunun ilk yarısını iki dakikada tamamladığını ama iyi gününde olmadığı için yarışın ikinci yarısında önemli oranda yavaşlayarak bitirmesinin üç dakika daha aldığını varsayın. Yarışın filmini tersten izlerken, atı yarış parkurunun yarısını gösteren işareti geçerken görmek için filmi yarıdan daha fazla geriye doğru izlememiz gerekir (beş dakikalık filmi ikinci dakikaya kadar geri oynatmamız gerekir). Benzer biçimde, standart Büyük Patlama kuramında kütleçekimi uzayın genişlemesini yavaşlattığı için, iki bölge arasındaki uzaklığı yarıya düşürmek için, kozmik filmdeki herhangi bir noktadan geriye doğru yarıdan fazla sarmak zorundayız. Yukarıda olduğu gibi, uzaydaki bölgeler daha önceki dönemlerde birbirlerine daha yakın olsalar da, birbirlerini etkilemeleri daha zordu. Bu nedenle bir şekilde aynı sıcaklığa ulaşmış olmaları daha şaşırtıcıdır.

Fizikçiler bir bölgenin kozmik utkunu (veya kısaca utkunu) verilen bölgeyle Büyük Patlama'dan bugüne kadar ışık alışverişinde bulunmuş olabilecek olan, çevredeki en uzak uzay bölgeleri olarak tanımlarlar. Yeryüzünde belirli bir noktadan görebileceğimiz en uzak yerler olarak tanımlanabilecek olan ufukla kozmik ufuk arasında böyle bir benzerlik vardır. Bu durumda gözlemlerin ayrılmaz bir parçası olan ufuk problemi, ufukları her zaman birbirinden ayrı olmuş olan bölgelerin -birbirleriyle asla etkileşmiş, haberleşmiş veya birbirleri üzerine bir etki uygulamış olamayacak olan bölgelerin- nasıl olup da hemen hemen aynı sıcaklıklara gelmiş olduğu bilmecesidir.

Ufuk problemi standart Büyük Patlama modelinin yanlış olduğunu göstermez, ama bir açıklama ister. Şişme kozmolojisi de bir açıklama sunar.

Şişme kozmolojisinde kütleçekiminin itici olduğu ve bunun uzayı gittikçe daha hızlı genişlemeye zorladığı kısa bir dönem vardı. Kozmik filmin bu döneminde uzayın iki bölgesi arasındaki uzaklığı yarıya düşürmek için filmi yarıdan daha az geriye sarmak zorundasınızdır. Biraz önceki yarış atımızın yarış parkurunun yarısını iki dakikada koştuğunu ama hayatının yarışını çıkararak hızlanıp, parkurun ikinci yarısını bir dakikada koştuğunu düşünün. Atın parkurun yarısını gösteren işaretten geçişini görüntülemek için, üç dakikalık yarış filminin yalnızca üçte birini, yani yarısından azını geriye sarmak zorunda kalırsınız. Benzer şekilde, şişmeden kaynaklanan genişleme sırasında, uzayın iki bölgesinin birbirinden uzaklaşmalarının giderek hızlanması, kozmik filmde bunların arasındaki uzaklığın yarıya düşürülmesi için geriye sarılması gereken film miktarının yarıdan az -çok daha az- olduğunu gösterir. Bu yüzden, zamanda geriye doğru gittikçe iki bölgenin birbirini etkilemesi kolaylaşır, çünkü orantılı olarak, haberleşebilecekleri daha fazla zaman kalır. Hesaplar, eğer şişmeden kaynaklanan genişleme evresi uzayı 1030 kattan daha fazla genişletmişse, ki bu şişme kaynaklı genişlemenin belirli gerçekleşmelerinde zaten elde edilmiş olan bir miktardır, uzayın şu anda görmekte olduğumuz bütün bölgelerinin -uzaydaki sıcaklığını ölçtüğümüz bütün bölgelerin- yan yana olan mutfak ve oturma odası kadar kolay haberleşebildiğini ve bu yüzden evrenin ilk dönemlerinde son derece etkili bir biçimde aynı sıcaklığa ulaşabildiğini göstermektedir. Özet olarak, uzay başlangıçta birörnek sıcaklık dağılımına ulaşacak şekilde yavaşça genişler ve sonra, patlamadan kaynaklanan hızlı bir genişlemeyle evren ağır ağır başlangıcını yaparak birbirine yakın bölgeleri uzaklara fırlatır.

Şişme kozmolojisi, uzayı dolduran mikrodalga fonunun gizemli birörnekliğini işte böyle açıklar.

Şişme ve Düzlük Problemi

Şişme kozmolojisinin karşılaştığı ikinci problem uzayın şekliyle ilgilidir. Bölüm 8'de birörnek uzaysal simetri ölçütünü koymuş ve uzayın dokusunun üç şekilde bükülebileceğini görmüştük. İki boyutlu benzetmelere geri dönersek, olasılıklar pozitif eğrilik (bir topun yüzeyi gibi), negatif eğrilik (bir eyer yüzeyi gibi) ve sıfır eğrilikti (sınırsız bir masa yüzeyi veya sınırlı-boyutlu video oyun ekranı gibi). Genel göreliliğin ilk günlerinden beri, fizikçiler uzayın her hacmindeki toplam madde ve enerjinin -madde/enerji

yoğunluğu- uzayın eğriliğini belirlediğini anlamışlardı. Eğer madde/enerji yoğunluğu yüksekse, uzay kendini çekerek bir küre şekline kapanacaktır, yani eğrilik pozitif olacaktır. Eğer madde/enerji yoğunluğu düşükse, uzay bir eyer şeklinde açılacak, yani eğrilik negatif olacaktır. Veya son bölümde söz edildiği gibi, madde/enerji yoğunluğunun özel bir değeri için -uzayın her metre küpünde beş hidrojen atomuna (yaklaşık 10-23 gram) eşit olan kritik yoğunluk- uzay, bu iki ucun arasında bulunacak ve son derece düz olacaktır: Yani eğrilik sıfır olacaktır.

Şimdi bilmeceye gelelim.

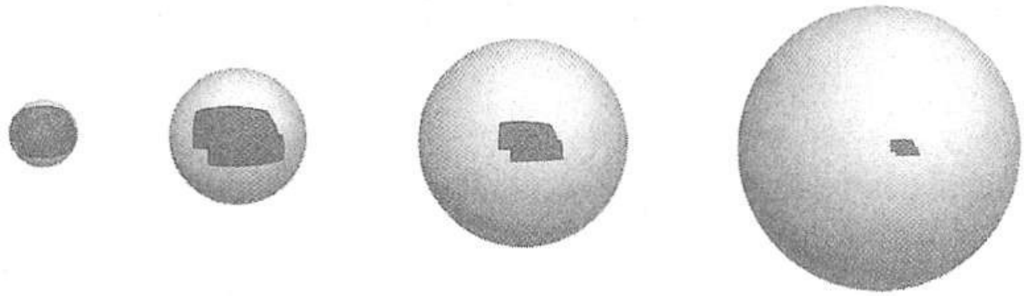
Standart Büyük Patlama modelinin temelinde yer alan genel görelilik denklemleri, eğer ilk dönemlerdeki madde/enerji yoğunluğu tam olarak kritik yoğunluğa eşit olsaydı, evren genişlerken kritik yoğunluğa eşit kalacağını gösteriyor. Ama eğer mad-de/enerji yoğunluğu kritik yoğunluktan biraz küçük veya biraz büyük idiyse, sonraki genişleme bu yoğunluğu kritik değerinden çok uzaklaştıracaktı. Sayılar konusunda bir fikir edinmek için, eğer patlamadan sonra evrenin yoğunluğu kritik yoğunluğun yüzde 99,99'u kadar olsa, hesaplar, sonraki genişlemenin bu yoğunluğu kritik değerin ,00000000001'ine kadar düşüreceğini gösteriyor. Bu, bir dağcının, her iki tarafı da uçurum olan bıçak- sırtı keskinliğinde bir sırtta yürümesine benziyor. Eğer tam yerine basarsa hedefine ulaşabilir. Ama yanlış yöne çok küçük bir adım, çok farklı sonuçlara yol açabilir. (Ve aşırı benzetme yapmış olma riskini göze alarak, standart Büyük Patlama modelinin bu özelliği bana yıllar önce üniversite yurdundaki duşu hatırlattı: Eğer musluğu tam olarak ayarlarsanız normal sıcaklıktaki suyla rahat bir duş yapabilirdiniz. Ama musluk bu ayarın birazcık aşağısı veya yukarısında kalmışsa, ya haşlanır veya donardınız. Bazı öğrenciler bu yüzden duş yapmaktan tümden vazgeçmişti.)

On yıllar boyunca fizikçiler evrendeki madde/enerji yoğunluğunu ölçmeye çalışmışlardır. 1980'lerde, her ne kadar ölçümler tam olmaktan uzak olsa da, kesin olan bir şey vardı: Evrendeki madde/enerji yoğunluğu, kritik yoğunluktan binlerce ve binlerce defa küçük ya da büyük değildi; bunun sonucunda da uzay ne pozitif, ne de negatif yönde fazla eğriydi. Bunun anlaşılması standart Büyük Patlama modelinin üzerine pek de kullanışlı ol-mayan bir ışık tutabilir. Bu, standart Büyük Patlama modelinin gözlemlerle uyumlu olması için, bir mekanizmanın -kimsenin bilmediği ve açıklayamadığı bir mekanizmanın- evrenin ilk dönemlerindeki madde/enerji yoğunluğunu, kritik yoğunluğa olağanüstü yakın olacak şekilde ayarlamış

olduğunu gösteriyordu. Örneğin, hesaplar patlamadan bir saniye sonra evrendeki madde/enerji yoğunluğunun, kritik yoğunluğa, onun değerinin yüzde birinin milyon kere milyonda birinden daha yakın olması gerektiğini gösteriyor. Eğer madde/enerji yoğunluğu bu kritik değerden çok az daha büyük bir sapma bile yapsa, standart Büyük Patlama modeli bugünkü madde/enerji yoğunluğunun, gözlediğimizden çok farklı olacağını öngörüyor. O zaman, standart Büyük Patlama modeline göre, evren ilk dönemlerinde, tıpkı tepenin üzerinde yürüyen dağcı gibi, çok dar bir sırtta kalmış olmalı. Milyarlarca yıl önceki koşullarda minik bir sapma, günümüzde astronomların gözlemlerinin ortaya koyduğu evrenden çok farklı bir evrenin ortaya çıkmasıyla sonuçlanabilirdi. Bu, düzlük problemi olarak bilinir.

Her ne kadar buraya kadar olan tartışmamız temel fikri açıklamış olsa da, düzlük probleminin hangi anlamda bir problem olduğunu anlamak önemlidir. Düzlük problemi hiçbir şekilde standart Büyük Patlama modelinin yanlış olduğunu göstermez. Sadık bir inananın, düzlük problemine tepkisi, evrenin ilk dönemlerindeki -standart Büyük Patlama kuramının gözlemleri doğrulayan öngörülere yol açması için gerektirdiği-iyi ayarlanmış madde/enerji yoğunluğunu açıklanamayan bir veri olarak alıp, omuzlarını silkerek, kısa ve sertçe "O zamanlar öyleydi" şeklinde olur. Ama bu cevap çoğu fizikçiyi tiksindirir. Fizikçiler, eğer bir kuramın başarısı bazı özelliklerin açıklayamadığımız ayarlanma şekillerine son derece bağlı ise, o kuramın doğal olmadığını kabul ederler. Evrenin ilk dönemlerindeki madde/enerji yoğunluğunun niçin kabul edilebilir bir değere bu kadar hassas bir şekilde ayarlanmış olduğunun nedenini açıklamadığından, birçok fizikçi standart Büyük Patlama modelinin yüksek ölçüde kurmaca olduğunu düşündü. Bu nedenle, düzlük problemi, standart Büyük Patlama modelinin, üzerinde çok az bilgi sahibi olduğumuz, uzak geçmişteki koşullara olan olağanüstü hassasiyetine dikkat çekiyor; kuramın işlemesi için nasıl evreni olduğu gibi varsayması gerektiğini gösteriyor.

Tersine, fizikçiler öngörüleri çok uzun zaman önce her şeyin nasıl olduğu gibi bilinmeyen niceliklere bağlı olmayan kuramlardan hoşlanırlar. Böyle kuramlar sağlıklı ve doğal hissi verirler, çünkü öngörüleri belirlenmesi çok zor, hatta olanaksız olan ayrıntılara bağlı değildir. Şişme kozmolojisinin kuramı, böyle bir kuramdır ve düzlük problemine gösterdiği çözüm bunun nedenini ortaya koyar.



Şekil 10.4 Sabit boyutlu bir şekil, örneğin Nebraska eyaleti, gittikçe daha büyük çaplı küreler üzerine oturtulduğunda gittikçe daha düz görünür. Bu benzetmede küre bütün evreni, Nebraska ise gözlenebilir evreni -bizim kozmik ufkumuzun içindeki evreni- simgeliyor.

Temel gözlem, çekici kütleçekimi kritik madde/enerji yoğunluğundan herhangi bir küçük sapmayı büyütürken, şişme kuramındaki itici kütleçekiminin, bunun tersini yaptığı yolundadır: Kritik yoğunluktan herhangi bir sapmayı küçültür. Bunun neden böyle olduğunu anlamak için en kolayı evrenin madde/enerji yoğunluğuyla, eğriliği arasındaki sıkı ilişkiyi geometrik açıdan tartışmaktır. Özellikle, dikkat ederseniz, ilk dönemlerde evrenin şekli önemli ölçüde eğri olmuş olsa bile, şişmeye bağlı genişlemeden sonra, günümüzün gözlenebilir evrenini kaplayabilecek kadar büyük bir uzay bölgesi hemen hemen düz görünüyordu. Bu, geometrinin hepimizin bildiği bir özelliğidir: Bir basket topunun yüzeyinin eğri olduğu açıkça görülür ama Dünyanın yüzeyinin eğri olduğunu herkesin kabul etmesi için çok zaman geçmesi ve birçok düşünürün çabası gerekmiştir. Bunun nedeni, diğer her şey eşit olduğunda, bir şey büyüdüğü zaman algılanabilir eğriliğin azalması ve yüzeydeki belirli bir bölgenin daha düz görünmesidir. Eğer Nebraska eyaletini Şekil 10.4a'daki gibi birkaç yüz kilometre çaplı bir kürenin yüzeyine oturtmaya çalışırsanız, eğri görünür, ama Dünya yüzeyinde, bütün Nebraska'lıların fikir birliği içinde olacağı şekilde, düz görünür. Eğer Nebraska'yı çapı Dünya'nınkinin bir milyar katı olan bir kürenin yüzeyine oturtursanız, daha da düz görünür.

Şişme kozmolojisinde uzay öylesine devasa bir faktörle gerilmiştir ki, görebildiğimiz kısım, dev evrenin yalnızca küçük bir parçasıdır. Bu yüzden, Şekil 10.4b'de görüldüğü üzere, dev bir kürenin yüzeyine oturtulmuş olan Nebraska gibi, evrenin tamamı eğri olsa bile, gözlenebilir ev ren hemen hemen düz görünür.

Bu sanki dar sırtta yürüyen dağcının botlarına ve sırtın hemen altına farklı kutupta mıknatıslar yerleştirilmiş olması gibidir. Dağcının adımı sırttan tehlikeli şekilde uzaklaşsa bile, mıknatıslar arasındaki güçlü çekim botun güvenli bir şekilde sırta basmasını sağlar. Benzer biçimde, evren ilk dönemlerinde kritik madde/enerji yoğunluğundan birazcık uzaklaşmış olduğu için düz olmaktan uzak olsa da, şişmeden kaynaklanan genişleme, uzayın ulaşabildiğimiz (görebildiğimiz) bölgelerinin düz şekil almasını ve ölçebildiğimiz madde/enerji yoğunluğunun kritik değere yaklaşmasını sağlar.

İlerleme ve Öngörü

Şişme kozmolojisinin ufuk ve düzlük problemleriyle ilgili görüşleri müthiş bir ilerlemeyi temsil eder. Kozmolojik evrimin madde/enerji yoğunluğu bugün gözlediğimiz evreninkine yakın olan, türdeş bir evren ortaya çıkarabilmesi için, standart Büyük Patlama modeli, evrenin ilk dönemlerindeki koşullarda kesin, açıklanamayan, neredeyse esrarengiz bir hassas ayar olmasını gerektirir. Bu ayar, standart Büyük Patlama'nın sadık savunucularının yaptığı gibi varsayılabilir ama bir açıklamanın olmayışı kuramın yapay görünmesine neden oluyor. Tersine, evrenin ilk dönemlerindeki madde/enerji yoğunluğundan bağımsız olarak, şişme kozmolojik evrimi, görebildiğimiz kısmın hemen hemen düz olması gerektiğini öngörür; yani, gözlediğimiz madde/enerji yoğunluğunun, kritik yoğunluğun neredeyse yüzde 100'üne yakın olması gerektiğini öngörür.

Evrenin ilk dönemlerindeki ayrıntılı koşullara bağlı olmamak şişme kuramının harika bir özelliğidir, çünkü bu durum çok önceki koşullar hakkındaki bilgisizliğimizden bağımsız olarak tanımlayıcı öngörülerde bulunabilmemizi sağlar. Ama şimdi sormamız gerekir: Bu öngörüler, ayrıntılı gözlemlere nasıl karşı koyuyor? Veriler şişme kozmolojisinin madde/enerjide kritik yoğunluğa sahip olan, düz bir evren görmemiz gerektiği yolundaki öngörüsünü destekliyor mu?

Yıllar boyunca cevap "Tam değil" gibi görünmüştü. Birçok astronomi araştırmasında evrende görülebilen madde/enerji miktarı dikkatlice ölçülmüş ve cevap, kritik yoğunluğun yaklaşık yüzde 5'i olarak ortaya çıkmıştı. Bu, standart Büyük Patlama kuramının doğal olarak -yapay ayarlamalar olmaksızın- yol açtığı çok büyük ya da çok küçük

yoğunluklardan uzaktır ve daha önce, gözlemlerin evrendeki madde/enerji yoğunluğunun kritik değerden binlerce kat büyük veya küçük olmadığını gösterdiğinden söz ederken kısaca söz etmiş olduğum şey budur. Böyle olsa bile yüzde 5, şişmenin öngördüğü yüzde 100'den epeyce küçük kalıyor. Ama fizikçiler verilerin değerlendirilmesinde çok dikkatli olunması gereğinin uzun süredir farkındalar. Yüzde 5 değerinin bulunduğu astronomi araştırmalarının çoğu, yalnızca ışık veren ve bu yüzden astronomların teleskoplarıyla görülebilen madde ve enerjiyi kapsar. On yıllar boyunca, hatta şişme kozmolojisinin keşfinden önce bile, evrenin önemli bir karanlık tarafı olduğu yolunda çok fazla kanıt vardı.

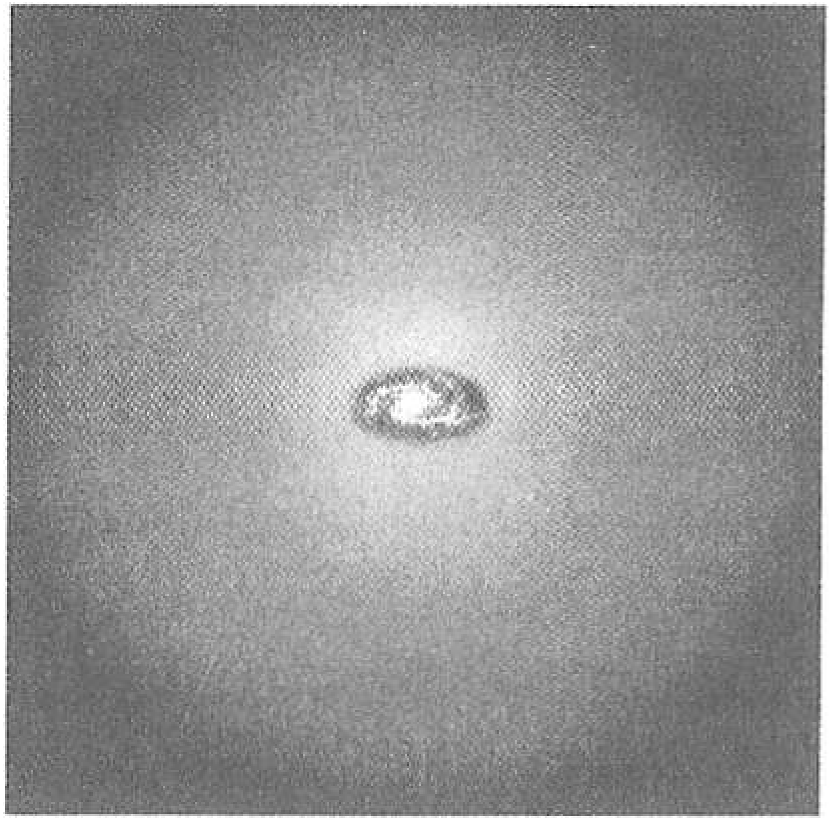
Karanlık Öngörüsü

1930'ların başında, Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nde astronomi profesörü olan Fritz Zwicky (simetri konusundaki takdiri arkadaşlarına küresel piçler demesine yol açmış olan ve bunu "nereden bakarsanız bakın, piç gibi görünüyorlar" diye açıklayan, iğneleyiciliği ile ünlü bilim insanı), Dünyadan 370 milyon ışık yılı uzaklıktaki binlerce galaksiden oluşan Coma kümesinin dış bölgelerindeki galaksilerin, ışık yayan maddenin yaratabileceği kütleçekimi ile açıklanamayacak kadar hızlı hareket ettiklerini fark etti. Zwicky'nin çözümlemesi, tıpkı hızla dönen bir bisiklet lastiğinden etrafa sıçrayan su damlaları gibi, en hızlı hareket eden galaksilerin kümeden dışarıya fırlamaları gerektiğini gösterdi. Ama hiçbiri fırlamıyordu. Zwicky, kümede ışık yaymayan ama kümeyi bir arada tutmak için gerekli olan kütleçekimini sağlayan fazladan madde olabileceğini tahmin etti. Hesapları da, eğer bu açıklama doğru ise, kümenin kütlesinin büyük çoğunluğunun bu ışık saçmayan madde olması gerektiğini gösterdi. 1936'da Mount Wilson gözlemevinde Başak (Virgo) kümesini inceleyen ve benzer bir sonuca ulaşan Sinclair Smith tarafından destekleyici kanıt bulundu. Ama her iki bilim insanının ve sonraki birkaçının da gözlemleri çeşitli belirsizlikler içerdiğinden, birçok kimse, kütleçekimi galaksi gruplarını bir arada tutan, görülemeyen büyük miktarda maddenin varlığı konusunda ikna olmadı.

Sonraki otuz yıl boyunca, ışık yaymayan madde konusundaki kanıtlar birikmeye devam etti, ama bu konuyu kökünden halleden Washington'daki Carnegie Enstitüsü'nden Vera Rubin ile birlikte Kent Ford ve diğerlerinin çalışmaları oldu. Rubin ve çalışma arkadaşları birçok dönen galaksideki

yıldızların hareketlerini incelediler ve eğer gördükleri madde orada bulunanın tümü ise, birçok galaksideki yıldızların düzenli olarak dışarıya doğru fırlatılmaları gerektiği sonucuna vardılar. Gözlemleri, galaksilerdeki görülebilen maddenin, en hızlı hareket eden yıldızların galaksiden kurtulmasını engelleyebilecek kütleçekimini üretemeyeceğini net bir biçimde ortaya koyuyordu. Bununla birlikte, yaptıkları ayrıntılı çözümlemeler, içlerinde bulundukları galaksilerin de, kütleleri galaksinin ışık yayan maddesinin kat kat üzerinde olan, dev bir ışık yaymayan madde topunun içinde olmaları durumunda (Şekil 10.5'te görüldüğü gibi) bu yıldızların kütleçekimsel olarak galaksilere bağlı kalabileceğini de gösterdi. Böylece, tıpkı seyircilerin aydınlatılmamış bir sahnede yalnızca beyaz eldivenli eller gördüğü halde siyah giysili bir insanın var olduğu sonucunu çıkarması gibi, astronomlar da evrenin karanlık madde ile -bir araya gelip kümelenerek yıldız oluşturmayan, ışık yaymayan ama görünmeden kütleçekimi kuvveti uygulayan madde ile- dolu olması gerektiği sonucuna vardılar. Evrenin ışık yayan bileşenleri -yıldızlar- dev karanlık madde okyanusundaki deniz fenerleri gibiydiler.

Ama eğer yıldızların ve galaksilerin gözlenen hareketlerine karanlık madde neden oluyorsa, bu maddenin yapısı nedir? Şu ana kadar, bunu kimse bilmiyor. Her ne kadar astronomlar ve fizikçiler çeşitli egzotik parçacıklardan kozmik mini kara delikler denizine kadar pek çok olası bileşenin varlığını önermiş olsalar da, karanlık maddenin kimliği temel, hayaletimsi bir gizem olarak kalmaya devam ediyor. Ama yapısını belirlemeden bile, kütleçekimsel etkilerini yakından inceleyen astronomlar, evrende dağılmış olarak ne kadar karanlık maddenin var olduğunu büyük bir kesinlikle belirlemeyi başardılar. Buldukları cevap, kritik yoğunluğun yaklaşık yüzde 25'ine kadar ulaşıyordu. Böylece, görünen maddedeki yüzde 5 ile birlikte karanlık madde, şişme kozmolojisinin öngördüğü miktarın yüzde 30'unu açıklıyor.



Şekil 10.5 Bir karanlık madde topunun içine gömülü olan bir galaksi (şekilde görülmesini sağlamak için karanlık madde yapay olarak ışıklandırılmıştır)

Bu elbette bir ilerlemedir, ama uzun bir süre boyunca bilim insanları, eğer şişme kozmolojisi doğru ise, bulunmayı bekleyen yüzde 70 maddeden neyin sorumlu olduğunu düşünerek kafalarını kaşıdılar. Ama sonra, 1998'de iki grup astronom aynı şoke edici sonuca vardılar ki, bu da bizi başladığımız yere, Albert Einstein'ın önsezilerine geri götürüyordu.

Kaçak Evren

Nasıl tıbbi bir tanıyı doğrulamak için bir başka doktordan ikinci bir görüş almaya çalışırsanız, fizikçiler de veriler ve kuram şaşırtıcı bir sonucu işaret ettiği zaman başka görüşler de almaya çalışırlar. Bu başka görüşler arasında en ikna edici olanlar, olaya özgün çözümleme ile çok farklı bir bakış açısından bakarak aynı sonuca ulaşanlardır. Çözüm okları farklı açılardan aynı noktaya yöneldiği zaman, hepsinin bilimsel olarak hedefin tam ortasına

yönelmiş olma olasılığı çok yüksektir. Doğal olarak, o zaman, şişme kozmolojisi güçlü bir şekilde tamimiyle garip bir şey -evrenin madde/enerjisinin yüzde 70'inin henüz tanımlanamadığı ve ölçülemediği gibi- önerdiği için, fizikçiler bağımsız bir doğrulama arayışına girdiler. Yavaşlama parametresinin ölçümünün bu işe yarayabileceği uzun süredir biliniyordu.

Şişme patlamasının hemen sonrasından beri bildiğimiz çekici kütleçekimi evrenin genişlemesini yavaşlatmaktadır. Bu yavaş-lamanın oranı yavaşlama parametresi olarak adlandırılır. Bu parametrenin kesin ölçümü evrendeki toplam madde miktarı konusunda bağımsız bir görüş ortaya koyar: Işık yaymakta olsun veya olmasın daha fazla madde, daha büyük kütleçekimi ve uzayın genişlemesinde daha belirgin bir yavaşlama anlamına gelir.

On yıllar boyunca astronomlar evrenin genişlemesindeki yavaşlamayı ölçmeye çalışmışlardır, ama bu her ne kadar kuramsal olarak kolay olsa da pratikte zordur. Galaksiler veya kuasarlar gibi uzak gök cisimlerini gözlediğimiz zaman, onları çok eskiden oldukları gibi görürüz: Ne kadar uzağa bakarsak, zamanda da o kadar geçmişe bakıyoruz demektir. Bu yüzden, eğer bizden hangi hızla uzaklaşmakta olduklarını ölçebilirsek, evrenin uzak geçmişte hangi hızla genişlediğini ölçebiliyoruz demektir. Üstelik eğer bu ölçümleri çeşitli uzaklıklardaki gök cisimleri için yapabilirsek, geçmişteki çeşitli zamanlarda evrenin genişleme hızını ölçmüş oluruz. Bu genişleme hızlarını karşılaştırarak uzayın genişlemesinin zamanla nasıl yavaşladığını ve buradan da yavaşlama parametresini bulabiliriz.

Yavaşlama parametresini ölçmek için bu stratejiyi kullanmak, bu nedenle iki şeyi gerektirir: Verilen bir gök cisminin uzaklığını saptamak için bir yöntem (ki zamanda ne kadar geriye baktığımızı bilebilelim) ve cismin bizden hangi hızla uzaklaştığını saptamak için bir yöntem (ki böylece, geçmişte o anda uzayın genişleme hızını bulabiliriz). Bunlardan ikincisini bulmak kolaydır. Nasıl bir polis aracının sireni, bizden uzaklaşırken daha pes tonlara kayarsa, bir gök cisminin yaydığı ışığın frekansı da, cisim bizden uzaklaşıyorsa, azalır. Yıldızların, galaksilerin ve kuasarların bileşenleri olan hidrojen, helyum ve oksijen atomlarının yaydıkları ışıklar, laboratuvar koşullarında çok dikkatli bir biçimde incelendiklerinden, aldığımız ışığı laboratuvarda görülenle karşılaştırarak gök cisminin kesin hızı bulunabilir.

Ama ilkini, yani gök cisminin tam olarak ne kadar uzakta olduğunun belirlenmesinin, astronomların baş ağrısı olduğu kanıtlanmıştır. Bir şey ne kadar uzaktaysa o kadar sönük görünmesini beklersiniz ama bu basit gözlemi nicel bir ölçüme dönüştürmek zordur. Bir cismin uzaklığını, görünür parlaklığını kullanarak ölçmek için, onun gerçek parlaklığını -hemen yanınızda olsa ne kadar parlak olacağını- bilmek zorundasınız. Milyarlarca ışık yılı uzaklıktaki bir cismin gerçek parlaklığını saptamak zordur. Genel strateji, temel astrofiziksel nedenlerle her zaman aynı, güvenilebilir parlaklıkta olan gök cismi türlerini aramaktır. Eğer uzayda çeşitli uzaklıklarda parlayan 100 wattlık elektrik ampulleri olsaydı, işimiz kolay olurdu, çünkü verilen bir ampulün parlaklığını, ne kadar sönük göründüğüne bakarak kolayca bulabilirdik (her ne kadar 100 wattlık bir ampulü oldukça büyük uzaklıklardan görmek zor olsa da). Ama uzay böyle değil, o zaman, standart parlaklıktaki ampullerin yerini ne tutabilir, ya da astronomi diliyle konuşacak olursak, standart ışık kaynaklarının yerini ne tutabilir? Yıllar boyunca astronomlar çeşitli olasılıkları incelediler ama şimdiye kadar bulunan en başarılı aday, süpernova patlamalarının belirli bir türüdür.

Yıldızlar nükleer yakıtlarını bitirdikleri zaman, dışarıya doğru olan ve yıldızın çekirdeğindeki nükleer füzyondan kaynaklanan basınç azalır ve yıldız kendi ağırlığı altında çökmeye başlar. Yıldızın çekirdeği kendi kendini ezerken sıcaklığı ani olarak yükselir, bu da kimi zaman yıldızın dış katmanlarını parlak bir göksel havai fişek gösterisiyle dışarı püskürten devasa bir patlamayla sonuçlanır. Böylesi bir patlama süpernova patlaması olarak bilinir; patlayan tek bir yıldız, haftalar süresince bir milyar güneş parlaklığında ışık verir. Bu, gerçekten akıllara durgunluk vericidir: Hemen hemen tüm bir galaksi parlaklığında ışık veren tek bir yıldız! Farklı yıldız türleri -farklı boyutlarda, farklı atom bolluklarında vb.- farklı süpernova türlerine yol açabilir ama yıllar boyunca astronomlar belirli bazı süpernova patlamalarının her zaman aynı gerçek parlaklıkla ışıdığını fark ettiler. Bunlar Ia türü süpernova patlamalarıdır.

Ia türü süpernovada, bir beyaz cüce yıldız -nükleer yakıt stoğunu bitirmiş olan ama kendi süpernova patlamasını başlatamayacak kadar küçük kütleli olan bir yıldız-yakınındaki yoldaş yıldızından kendine madde çeker. Cüce yıldızın kütlesi özel bir kritik değere, Güneş'in kütlesinin 1.4 katına ulaştığında, yıldızı süpernovaya dönüştüren kaçak bir nükleer reaksiyon başlar. Böyle süpernova patlamaları, beyaz cüce aynı kritik değere ulaştığı

zaman ortaya çıktığından, patlamanın karakteristiği, tüm parlaklığı da dahil olmak üzere, bir olaydan diğerine aynıdır. Üstelik 100 wattlık ampullerin tersine süpernovalar öylesine güçlüdürler ki, yalnızca standart, güvenilir parlaklıklara sahip olmakla kalmazlar, onları evrenin her tarafında görebilirsiniz. Bu yüzden standart ışık kaynaklarının en önemli adaylarıdırlar.

1990'larda, biri Lawrence Berkeley Ulusal Laboratuvarı'ndan Saul Perlmutter, diğeri ise Avustralya Ulusal Üniversitesi'nden Brian Schmidt tarafından yönetilen iki grup astronom, la türü süpernovaların uzaklaşma hızlarını ölçmek yoluyla evrenin yavaşlamasını -ve böylece evrendeki toplam madde/enerjiyi- belirleyebilmek için çalışmaya başladılar. Patlamalarıyla ortaya çıkan ışığın şiddeti önce hızla artıp daha sonra yavaş yavaş azalarak belirgin bir fark sergilediği için, bir süpernovanın Ia türü olduğunun belirlenmesi oldukça kolaydır. Ama la türü bir süpernovayı gerçekten patlama sırasında yakalamak çok büyük bir olaydır, çünkü bu tür süpernovalar tipik bir galakside birkaç yüz yılda bir patlarlar. Buna rağmen, binlerce galaksinin aynı anda gözlenebilmesini sağlayan geniş açılı ve yüksek teknoloji ürünü olan teleskoplar sayesinde bu gruplar, Dünya’dan çeşitli uzaklıklarda elli kadar la türü süpernova bulmayı başardılar. Uzun uğraşlar sonucu her birinin uzaklığının ve uzaklaşma hızının belirlenmesinden sonra, her iki grup da tam anlamıyla hiç beklenmedik bir sonuca ulaştı: Evrenin yaklaşık 7 milyar yaşında olduğu zamandan günümüze kadar, genişleme hızı azalmıyordu. Tam tersine, genişleme hızı artıyordu.

Gruplar, tıpkı otoyol gişelerine yaklaşan bir aracın yavaşlaması gibi, evrenin genişleme hızının ilk patlamadan sonraki 7 milyar yıl boyunca azaldığı sonucuna vardılar. Bu beklenen bir şeydi. Ama veriler, otoyol gişesinden geçen sürücünün gaza basarak hızlanması gibi, evrenin genişlemesinin de o zamandan günümüze kadar hızlandığını ortaya koydu. Uzayın patlamadan 7 milyar yıl sonraki genişleme hızı, 8 milyar yıl öncekinden, o da 9 milyar yıl önceki genişleme hızından daha azdı vb. Bunların tümü de günümüzdeki genişleme hızından daha azdı. Uzayın genişlemesinde beklenen yavaşlama, beklenmedik bir ivmelenmeye dönüşmüştü.

Ama bu nasıl olabilirdi? İşte cevap, fizikçilerin bulmaya çalıştığı, eksik olan yüzde 70'lik kütle/enerjiye ilişkin, o destekleyici ikinci görüşü ortaya koymaktadır.

Kayıp Yüzde 70

Eğer zihinsel olarak geriye, 1917 yılına ve Einstein'ın kozmolojik sabiti ortaya atmasına giderseniz, evrenin nasıl ivmelenmekte olduğu konusunda bir öneride bulunmak için yeterli bilginiz var demektir. Bildiğimiz madde ve enerji uzaysal genişlemeyi yavaşlatan, çekici kütleçekimine yol açar. Ama evren genişleyip her şey giderek birbirinden uzaklaşmaya başlayınca, bu kozmik kütleçekimi, genişlemeyi hâlâ yavaşlatmakta olsa da, zayıflar. Bu da bizi, beklenmedik bir durumla karşı karşıya getirir. Eğer evrende bir kozmolojik sabit varsa -ve bunun değeri, küçük ve tam olması gerektiği kadar ise- patlamadan 7 milyar yıl sonrasına kadar patlamanın kütleçekimsel itmesi bildiğimiz maddenin çekici kütleçekimi tarafından yenilir ve bu da verilerle tam bir uyum içinde, genişlemede net bir yavaşlamaya yol açar. Ama daha sonra, bildiğimiz madde dağılıp kütleçekimi zayıflayınca, kozmolojik sabitin itmesi (ki bunun gücü maddenin dağılmasıyla zayıflamaz), yavaş yavaş üstün gelir ve uzayın yavaşlayan genişleme dönemi, yerini ivmelenen genişleme dönemine bırakır.

1990'ların sonunda, bu düşünüş mantığı ve verilerin derinlemesine çözümlenmesi, hem Perlmutter grubunun hem de Schmidt grubunun, 80 yıl kadar önce Einstein'ın kütleçekimsel denklemlere kozmolojik sabiti sokarken haksız olmadığı sonucuna varmalarına yol açtı. Bu gruplar, evrende bir kozmolojik sabitin bulunduğunu ileri sürdüler. Kozmolojik sabitin değeri Einstein'ın bulduğu gibi değildir, çünkü Einstein kütleçekimsel çekmenin itmeyle birbirlerini dengelediği, durağan bir evrenin peşindeydi. Bu araştırmacılar milyarlarca yıl boyunca itmenin daha üstün olduğunu buldular. Ama bu ayrıntı bir yana, eğer bu grupların keşifleri, dikkatli incelemeler ve halen yolda olan izleyici çalışmalardan sonra da doğru kalmaya devam ederse, o zaman Einstein bir kez daha evrenin temel bir özelliğini, bu kez deneysel olarak kanıtlanmasından 80 yıl önce görmüş olacak.

Bir süpernovanın yavaşlama hızı, bildiğimiz maddenin kütle-çekimsel çekmesi ile kozmolojik sabitin sağladığı "karanlık enerjinin" kütleçekimsel itmesi arasındaki farka bağlıdır. Hem görülen hem de karanlık maddenin toplam miktarını kritik yoğunluğun yaklaşık yüzde 30'u kadar alan süpernova araştırmacıları, gözledikleri ivmeli genişlemenin, karanlık

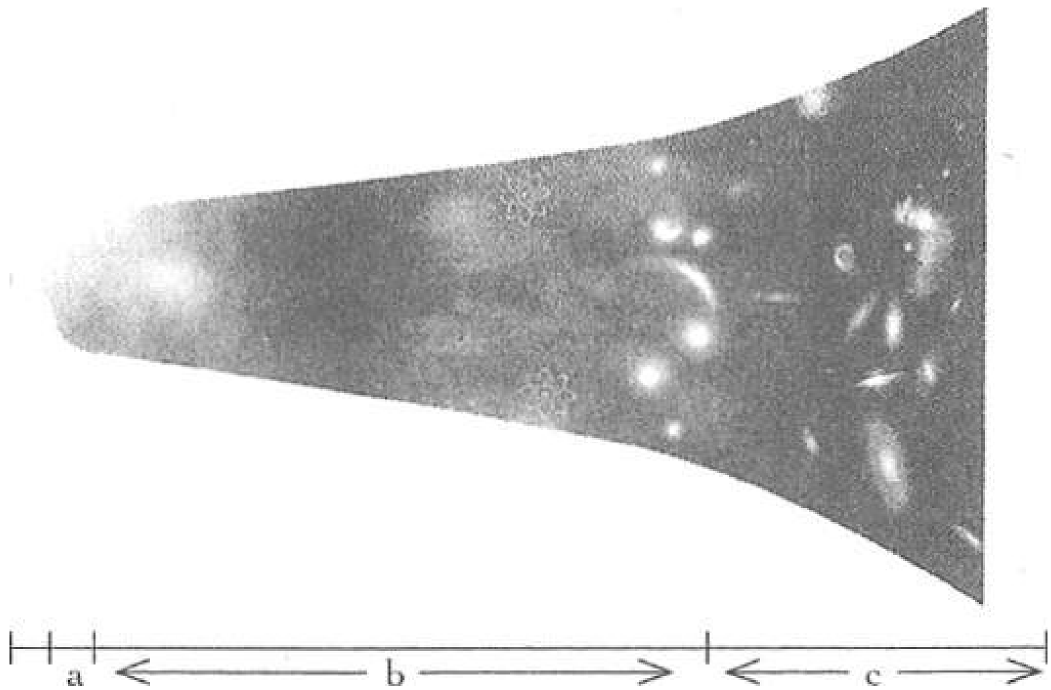
enerjisi kritik yoğunluğun yüzde 70'i kadar katkı yapan bir kozmolojik sabitin dışarı doğru itmesini gerektirdiği sonucuna vardılar.

Bu, önemli bir sayıdır. Eğer doğru ise, o zaman, bildiğimiz madde - protonlar, nötronlar, elektronlar- evrendeki kütle/enerjinin yalnızca yüzde 5 gibi önemsiz bir miktarını ve karanlık maddenin son zamanlarda tanımlanan bazı türleri bunun en azından beş katını oluşturuyor olmakla kalmaz, evrendeki madde/enerjinin çoğunluğuna uzayda dağılmış bulunan, tamimiyle farklı ve oldukça gizemli bir karanlık enerji türünün katkısı var demektir. Eğer bu fikirler doğru ise, o zaman Kopernik devrimini dramatik bir şekilde devam ettirmektedirler: Yalnızca evrenin merkezinde olmamakla kalmıyoruz, oluştuğumuz madde de kozmik okyanusta yüzen bir eşya gibidir. Eğer proton, nötron ve elektronlar büyük yapının dışında bırakılsalar bile, evrendeki toplam madde/enerji neredeyse hiç azalmaz.

Ama yüzde 70'in önemli bir sayı olmasının bunun kadar önemli, ikinci bir nedeni var. Kritik yoğunluğun yüzde 70'i kadar katkıda bulunan bir kozmolojik sabit, bildiğimiz madde ve karanlık maddeden gelen diğer yüzde 30'la birlikte, evrendeki toplam madde/enerjiyi şişme kozmolojisinin öngördüğü yüzde 100'e ulaştırır. Bu yüzden, süpernova verilerinin gösterdiği dışarı doğru itiş, şişme kozmologlarının başlarını kaşıyarak aramakta oldukları evrenin görünmeyen yüzde 70'inden sorumlu olan, tam doğru miktardaki karanlık enerji ile açıklanabilir. Süpernova ölçümleri ve şişme kozmolojisi birbirlerini harikulade bir biçimde tamamlarlar. Birbirlerini doğrularlar. Her biri, diğeri için destekleyici bir ikinci görüş oluşturur.

Süpernova gözlemlerinin sonuçlarını şişmenin kuramsal görüşleriyle birleştirerek, kozmik evrim hakkında Şekil 10.6'da özetlenen şöyle bir şemaya ulaşırız. İlk dönemlerde evrenin enerjisi, kendi en düşük enerji düzeyinden uzakta bulunan bir inflaton alanı tarafından taşınıyordu. Ama sahip olduğu negatif basınç yüzünden, inflaton alanı bir şişme genişleme patlaması başlattı. 10-35 saniye sonra, inflaton alanı potansiyel enerji kâsesinin dibine kayınca, genişleme patlaması bitti ve şişme, hapsolmuş olan enerjisini, bildiğimiz madde ve enerji üretimi için serbest bıraktı. Milyarlarca yıl boyunca evrenin bu bilindik bileşenleri, uzaysal genişlemeyi yavaşlatan, çekici kütleçekimsel kuvvetler uyguladılar. Ama evren genişleyip seyreldikçe kütleçekimi azaldı. Yaklaşık 7 milyar yıl önce, bildiğimiz kütleçekimi kuvveti, evrenin kozmolojik sabitten gelen

kütleçekimsel itmesinden daha zayıf hale geldi ve o zamandan günümüze kadar da uzaysal genişleme sürekli olarak hızlanıyor.



Şekil 10.6 Kozmik evrimin zaman çizgisi (a) Şişme patlaması (b) Standart Büyük Patlama evrimi (c) ivmeli genişleme dönemi

Günümüzden yaklaşık 100 milyar yıl kadar sonra, birbirlerine en yakın olanların dışındaki galaksiler, şişen uzayla birlikte ışık hızını aşan hızlarla uzaklaşacakları için ne kadar güçlü teleskoplar kullanırsak kullanalım, onları görmemiz olanaksız hale gelecek. Eğer bu görüşler doğru ise, uzak bir gelecekle evren devasa, boş ve yalnız bir yer olacak.

Bilmeceler ve İlerleme

Bu keşiflerle, sonunda kozmoloji bilmecesinin parçalan açıkça yerlerine oturmaya başlamış gibi görünüyor. Standart Büyük Patlama kuramının cevapsız bıraktığı sorular -Uzayın dışarı doğru şişmesini başlatan nedir? Fon ışınımının sıcaklığı neden böylesine birörnek? Uzay neden düz bir şekle sahipmiş gibi görünüyor?- şişme kuramı tarafından ele alındı. Bu

durumda bile, temel kökene ilişkin zor sorular birikmeye devam etti: Şişme patlamasından önce de bir dönem var mıydı, varsa nasıldı? inflaton alanını, şişme genişlemesini başlatmak üzere en düşük enerji durumundan çıkaran şey neydi? Ve bütün sorular arasında en yenisi, "evren neden böyle azar azar bileşenlerden -yüzde 5 bilindik madde, yüzde 25 karanlık madde, yüzde 70 karanlık enerji- oluşmuş gibi görünüyor?" sorusudur. Kozmik reçetenin, şişmenin evrenin kritik yoğunluğunun yüzde 100'üne sahip olması gerektiği yolundaki öngörüsüyle son derece güzel uyumuna rağmen ve her ne kadar süpernova çalışmaları sonucu bulunan ivmeli genişlemeyi eş zamanlı olarak açıklıyor olsa da, birçok fizikçi bu karmakarışık kompozisyonu son derece itici buluyorlar. Birçoğu evrenin yapısının neden bu kadar karmaşık olduğunu soruyor. Neden görünüşe göre böyle rasgele bolluklarda bir avuç bileşen var? Kuramsal çalışmaların hâlâ ortaya çıkaramadığı, belli başlı, anlamlı bir plan var mı?

Bu sorulara hiç kimse ikna edici cevaplar ileri süremedi; bunlar modern kozmoloji araştırmalarının temel ve baskılayıcı araştırma problemleri arasında olup evrenin doğuşunu tam olarak anladığımızı iddia etmeden önce çözmemiz gereken pek çok karışık düğüm olduğunu hatırlamamıza yardımcı olurlar. Ama hâlâ çözülememiş olan zorluklara rağmen şişme, çok ön saflarda yer alan bir kozmoloji kuramıdır. Fizikçilerin şişme kuramına olan inancı, elbette şimdiye kadar incelediğimiz başarılarından kaynaklanmaktadır. Ama şişme kozmolojisine duyulan güvenin kökleri çok daha derinlerdedir. Gelecek bölümde göreceğimiz gibi, bir dizi başka görüş -bunlar hem kuramsal hem de gözlemsel keşiflerden gelir- bu alanda çalışan pek çok fizikçiyi, şişme yapısının, bizim kuşağımızın kozmoloji bilimine olan en önemli ve en kalıcı katkısı olduğuna ikna etmiştir.

XI. Bölüm - Elmaslarla Bezeli Gökyüzündeki Kuantumlar

Şişme, Kuantum Titrenimleri ve Zamanın Oku

Şişme yapısının keşfi kuantum araştırmalarında yeni bir dönem başlattı ve o zamandan günümüze kadar geçen on yıllar boyunca bu konu üzerinde binlerce makale yazıldı. Bilim insanları, kuramın aklınıza gelebilecek her köşe-bucağını, her gediğini yokladılar. Bu çalışmalardan çoğu teknik açıdan önemli ayrıntılara odaklanmışken, diğerleri daha ileri giderek, şişmenin standart Büyük Patlama kuramının erişiminin ötesindeki problemleri çözmekle kalmadığını, aynı zamanda eski sorulara nasıl güçlü, yeni yaklaşımlar getirdiğini gösterdiler. Bunlar arasında, içinde şişmenin önemli ve gösterişli bir şekilde yer aldığı -galaksi gibi kümeli yapıların oluşması; gördüğümüz evrenin ortaya çıkabilmesi için gereken enerji ve (öykümüzde büyük öneme sahip olan) zamanın okunun kökeni ile ilgili olanlar- üç gelişme vardır.

Bir göz atalım.

Gökyüzüne Yazılı Kuantum

Şişme kozmolojisinin ufuk ve düzlük problemlerine bulduğu çözümler, ona ün kazandıran ilk iddialardı ve bu ün haklı olarak kazanıldı. Görmüş olduğumuz gibi, bu çözümler önemli kazanımlardı. Ama o zamandan bu yana geçen yıllar içinde birçok fizikçi, şişme kuramının en önemli katkıları arasında önemli bir başarının daha olduğuna inanma noktasına geldiler.

Övgü alan bu başarı, şimdiye kadar üzerinde düşünmemenizi tavsiye ettiğim bir konuyla ilgilidir: Nasıl oluyor da evrende galaksiler yıldızlar, gezegenler ve diğer kümeli yapılar bulunuyor? Son üç bölümde astronominin incelediği büyük ölçekli yapılara odaklanmanızı istedim. Bu ölçekler, evrenin türdeş göründüğü ölçeklerdi, evrenin kendisinin birörnek bir bardak su gibi, galaksilerinse H2O molekülleri gibi düşünülebileceği ölçeklerdi. Ama er veya geç kozmoloji, evren daha "küçük" ölçeklerde incelendiği zaman, galaksiler

gibi kümeli yapıların keşfedildiği gerçeğiyle yüzleşmek zorundaydı. Burada, bir kere daha, bu bilmeceyle karşılaşıyoruz.

Eğer evren gerçekten büyük ölçeklerde düzgün, birörnek ve türdeş ise -bunlar, bütün astronomi çözümlemelerinin temelinde yer alan ve gözlemlerce desteklenen özelliklerdir- o zaman, daha küçük-ölçekli kümelenmeler nereden geliyor olabilir? Standart Büyük Patlama’nın sadık taraftarları, bir kere daha, omuz silkerek topu evrenin ilk dönemlerindeki esrarengiz bir şekilde ayarlanmış, uygun koşullara atarlar: Böyle bir taraftar "Başlangıçtan hemen sonra her şey büyük ölçüde düzgün ve birörnekti ama tam olarak birörnek değildi. Koşullar nasıl böyle gelişti, bunu bilemem. O zamanlar öyleydi. Zamanla bu minik kümelenmeler büyüdü. Bunlar çevrelerinden daha yoğun olmaları yüzünden daha fazla kütleçekimi uyguladıkları için, giderek büyüdüler. Sonunda da yıldızları ve galaksileri oluşturacak kadar büyük kümelenmeler haline geldiler." Eğer iki eksiği olmasaydı, bu, inandırıcı bir öykü olabilirdi: Başlangıçtaki tam türdeşlik veya bu önemli, küçük birörneklik bozukluklarının tam bir açıklamasının olmaması. Şişme kozmolojisinin tatmin edici bir ilerleme sağladığı yer işte burasıdır. Şişmenin büyük ölçekli birörnekliğe bir açıklama önerdiğini zaten görmüştük ve şimdi öğreneceğimiz gibi, kuramın açıklayıcı gücü daha da ileri gider. Şişme kozmolojisine göre, yıldızların ve galaksilerin oluşumuyla sonuçlanan, başlangıçtaki birörneklik eksikliği kuantum mekaniğinden gelir.

Bu görkemli fikir, fiziğin görünüşe göre birbiriyle ilişkili olmayan iki farklı alanı arasındaki karşılıklı etkileşmeden kaynaklanır: Uzayın şişme sonucu genişlemesi ve kuantum belirsizlik ilkesi. Belirsizlik ilkesi, evrendeki birbirlerini tamamlayan çeşitli fiziksel niteliklerin ne kadar kesinlikle belirlenebileceği konusunda her zaman bazı sınırlar olduğunu söyler. En bilindik örnek (Bölüm 4'e bakınız) maddeyle ilgilidir: Bir parçacığın konumu ne kadar büyük bir kesinlikle belirlenirse, hızındaki belirsizlik de o kadar büyük olur. Ama belirsizlik ilkesi alanlara da uygulanır. Esas olarak parçacıklara uygulanırken kullandığımız aynı mantıkla, belirsizlik ilkesi bir alanın bir konumdaki değeri ne kadar büyük bir kesinlikle belirlenirse, alanın o konumdaki değişme hızındaki belirsizliğin de o kadar büyük olacağını söyler. (Bir parçacığın bir noktadaki konumu ve hızı, kuantum mekaniğinde, bir alanın bir konumdaki değeri ve değişimiyle benzer roller oynarlar.)

Belirsizlik ilkesini, kuantum mekaniğinin her şeyi titrenimli ve çalkantılı hale getirdiğini söyleyerek özetleyebiliriz. Eğer bir parçacığın hızı tam bir kesinlikle betimlenemiyorsa, parçacığın bir saniyenin kesri kadar kısa bir süre sonraki yerini de betimleyenleyiz, çünkü sonraki konu mu belirleyen şimdiki

hızdır. Bir anlamda, parçacık şu ya da bu hızı almakta ya da daha kesin bir dille konuşmak gerekirse, birçok farklı hızın bir karışımını almakta özgür olduğu için çılgınca titreşecek ve gelişigüzel olarak şuraya buraya gidecektir. Alanlar için de benzer bir durum söz konusudur. Eğer bir alanın değişme hızı tam olarak belirlenemezse, o zaman herhangi bir noktada, kısa bir süre sonra bile alanın değerini belirleyemeyiz. Bir anlamda, alan şu veya bu hızla yukarı-aşağı salınacak, daha doğrusu birçok farklı değişim hızının bir karışımını alacağı için, değeri çılgınca, bulanık bir titreşim gösterecektir.

Gündelik hayatta parçacıklar için olsun, alanlar için olsun, bu titrenimler atom-altı ölçeklerde gerçekleştikleri için bunlardan doğrudan haberdar olamayız. Ama işte tam burada şişme önemli bir etki yapar. Şişme genişlemesinin ani patlaması uzayı öylesine devasa bir faktörle büyüttü ki, önceleri mikroskopik olan her şey sonradan makroskopik hale geldi. Önemli bir örnek şunu verebiliriz: Şişme kozmolojisinin öncüleri, gelişigüzel kuantum çalkantıları yüzünden bir konumdaki enerji diğerinden biraz farklı olabileceği için, değişik uzaysal konumlardaki kuantum titrenimleri arasındaki rastgele farkların, mikroskopik ortamda küçük türdeşlik bozukluklarını yaratmış olabileceğini fark ettiler. O zaman, uzayın daha sonraki şişmesi sonucunda bu minik değişimler kuantum alanından çok daha büyük ölçeklere kadar gerilerek, tıpkı bir balonun üzerine çizilmiş olan dalgacıkların balon şişirildiğinde büyümesi gibi, küçük miktarlarda kümeliliğe yol açmış olabilir. Fizikçiler, standart Büyük Patlama modelinin sadık destekleyicilerinin, kanıtlamadan, yalnızca "o zamanlar öyleydi" şeklinde, ifade etmekle yetindikleri kümeliliğin kaynağının bu olduğuna inanıyorlar. Şişme kozmolojisi, kaçınılmaz kuantum salınımlarının devasa ölçülerde gerilmesi yolunda bir açıklama getirir: Şişme genişlemesi minik, türdeş olmayan kuantum titrenimlerini gererek gökyüzüne yayar.

Kısa şişme evresinin bitişini izleyen birkaç milyar yıl boyunca bu minik kümelenmeler, kütleçekimsel kümelenme yoluyla büyümeye devam ettiler. Standart Büyük Patlama kuramında olduğu gibi, kümeler çevreye göre biraz daha fazla kütleçekimine sahip olduğundan, yakındaki maddeyi çekerek daha da büyüdüler. Zamanla bu kümeler yıldızları ve onların içinde bulundukları galaksileri ortaya çıkardılar. Elbette minik bir madde kümesinden galaksiye gidene kadar pek çok ayrıntılı adım vardır ve bu adımların birçoğunun hâlâ tam bir açıklaması yoktur. Ama yapının bütünü açıktır: Bir kuantum dünyasında belirsizlik ilkesinin doğasından gelen titrenimlilik nedeniyle hiçbir şey tam olarak birörnek değildir. Şişme genişlemesi geçirmiş bir kuantum dünyasında böylesi birörneklik bozuklukları mikro dünyadan çok daha büyük ölçeklere

kadar gerilerek, galaksi gibi büyük astrofiziksel oluşumların tohumunu atmış olabilir.

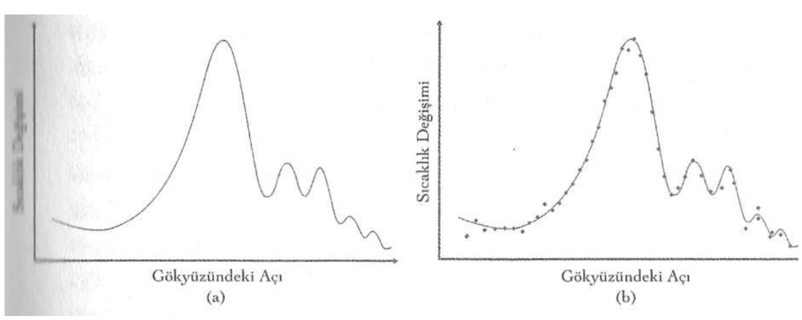
Temel fikir budur, onun için isterseniz bu paragrafı atlayabilirsiniz. Ama ilgilenenler için, bu tartışmayı biraz daha netleştirmek isterim. Inflaton alanının değeri potansiyel enerji kâsesinin dibine kaydığında şişme genişlemesinin bitmiş olduğunu ve alanın bütün enerjisinin ve negatif basıncının serbest kalmış olduğunu hatırlayın. Bunu, uzayın her yerinde birörnek ortaya çıkmış olarak -inflaton değeri her yerde aynı olarak- tanımlamıştık. Denklemlerden doğal olarak çıkan buydu. Ama bu yalnızca kuantum mekaniğinin etkilerini gözardı ettiğimiz zaman tam olarak doğrudur. Eğimli bir yüzeyden aşağı doğru yuvarlanan bilye gibi basit bir cisimden beklenebileceği üzere, inflaton alanının değeri gerçekten ortalama olarak kâsenin dibine kaymıştır. Ama kuantum mekaniği, tıpkı kâsenin dibine doğru kaymakta iken sağa-sola sıçrayan ve huzursuzlanan bir kurbağa gibi, inflaton alanının da salındığını ve titreştiğini söyler. Aşağıya kayarken, alanın değeri aniden ortalamanın biraz üzerine çıkmış veya biraz altına düşmüş olabilir. Bu titrenim yüzünden inflaton, en düşük enerji değerine farklı yerlerde ve biraz farklı zamanlarda düşmüştür. Böylece şişme genişlemesi uzayın değişik yerlerinde, çok az farklı zamanlarda bitmiş, böylece de değişik konumlar-daki uzaysal genişleme, çok az farklı değerler alarak, birörneklik bozukluklarına -kırışıklıklara-yol açmıştır. Pizzacının hamurun bir yerini diğerinden fazla uzatarak orada nasıl bir tümsek oluşturduğunu gözünüzün önüne getirin. Şimdi, normal önsezi, kuantum mekaniğinden kaynaklanan titrenimlerin, astrofiziksel ölçeklerle bir ilgisi olamayacağı yolundadır. Ama şişme ile evren, boyutlarını her 10-37 saniyede iki katına çıkararak öylesine devasa ölçülerde genişlemiştir ki, birbirine yakın yerlerde şişme sürelerindeki çok küçük farklar önemli kırışıklıklarla sonuçlanmıştır. Gerçekten belirli şişme hesapları, böyle ortaya çıkmış olan türdeşlik bozukluklarının çok büyük olmaya eğilimli olduklarını göstermiştir. Araştırmacılar, genellikle kuantum titrenimlerinin çok fazla kümeli bir evrene yol açmamalarını sağlamak için, verilen bir şişme modelindeki ayrıntıları (inflaton alanının potansiyel enerji kâsesinin tam şeklini) ayarlamak zorunda kalırlar. Böylece şişme kozmolojisi, en büyük ölçeklerde son derece türdeş gibi görünen bir evrende ortaya çıkmış olan yıldızlar ve galaksiler gibi kümeli yapılardan sorumlu olan küçük-ölçekli birörneklik bozukluklarını anlayabilmek için hazır bir mekanizma ortaya koymuştur.

Şişmeye göre, göksel mücevherler gibi gökyüzünde parlayan 100 milyardan fazla galaksi, kuantum mekaniğinin gökyüzüne yazdığı buyruktan başka bir şey değildir. Bana göre, bunun kavranması modern bilimsel çağın en harika olgularından biridir.

Kozmolojinin Altın Çağı

Mikrodalga fon ışınımının sıcaklığını ölçmek üzere yapılan titiz uydu gözlemleri, bu fikirleri destekleyen çok önemli kanıtlar sunar. Bu ışınımın sıcaklığının gökyüzünün her yerinde büyük ölçüde aynı olduğunu birkaç kere vurguladım. Ama farklı noktalardaki sıcaklığın, noktadan sonraki dördüncü basamaktan sonra farklılaştığından henüz söz etmedim, ilk olarak 1992 yılında COBE (the Cosmic Background Explorer Satellite) ve daha yakın zamanlarda da WMAP (the Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), uzaydaki bir noktada sıcaklığın 2,7249 Kelvin iken, başka bir noktada 2,7250 Kelvin, bir diğerinde ise 2,7251 Kelvin olduğunu buldu.

Harikulade olansa, bu son derece küçük sıcaklık değişimlerinin gökyüzünde galaksi oluşumlarının tohumunu attığı söylenen mekanizmayla açıklanabilecek olan bir desen sergiliyor olmasıdır: Şişmeyle gerilen kuantum titrenimleri. Temel fikir, minik kuantum titrenimleri uzaya yayıldığında bazı bölgelerin biraz daha sıcak, bazılarının ise biraz daha soğuk olmasına neden olduklarıdır (biraz daha yoğun bölgelerden gelen fotonlar, biraz daha güçlü olan kütleçekimi alanını yenebilmek için biraz daha fazla enerji harcarlar ve bu yüzden sıcaklıkları, daha az yoğun bölgelerden gelen fotonlara göre biraz daha düşük olur). Fizikçiler bu öneriyi temel alan hesaplamalar yapmış ve Şekil 11 .la da görüldüğü gibi, mikrodalga ışınımının sıcaklığının gökyüzünde bir bölgeden diğerine nasıl değişmesi gerektiğini gösteren tahminlerde bulunmuşlardır. (Ayrıntılar önemli olmamakla birlikte, yatay eksen iki noktanın gökyüzündeki açısal uzaklığı ile, düşey eksense bunların sıcaklık farkı ile ilintilidir.) Şekil 11.lb'de bu tahminler, küçük dörtgenlerle gösterilen uydu gözlemleri ile karşılaştırılmıştır ve gördüğünüz gibi mükemmel bir uyum vardır.



Şekil 11.1 (a) Şişme kozmolojisinin, gökyüzündeki bir noktadan diğerine mikrodalga fon ışınımının sıcaklık değişimleri tahmini (b) Bu tahminlerin uydu gözlemleriyle karşılaştırılması

Kuram ve gözlem arasındaki bu uyumun ayaklarınızı yerden kesmiş olduğunu umuyorum, çünkü eğer kesmediyse, sonucun tüm görkemini size aktaramamışım demektir. Bu yüzden, ne olur ne olmaz, burada ne olup bittiğini bir kere daha vurgulayayım: Uydulara yerleştirilen teleskoplar, son zamanlarda, neredeyse 14 milyar yıldır engellenmeden bize doğru gelen mikrodalga fotonlarının sıcaklıklarını ölçtüler. Uzayda farklı yönlerden gelen fotonların sıcaklığının birbirleri ile bir derecenin on hinde birinden daha büyük bir kesinlikle aynı olduğunu buldular. Üstelik gözlemler bu minik sıcaklık farklarının gökyüzünde, Şekil 11.1b'deki dörtgenlerin düzenli ilerlemelerinin gösterdiği özel bir desen oluşturduğunu gösterdi. Mucizelerin mucizesi, şişme yapısı kullanılarak bugün yapılan hesaplar, bu minik sıcaklık değişimlerinin -neredeyse 14 milyar yıl önce ortaya çıkan farklılıklar- sergilediği desenleri açıklayabiliyor ve üstüne üstlük, bu açıklamanın anahtarı da kuantum belirsizliğinden kaynaklanan titrenimler. Vay canına.

Bu başarı birçok fizikçiyi şişme kuramının geçerliliği konusunda ikna etmiştir. Aynı derecede önemli olan bir başka şey de, ancak son yıllarda olası hale gelen hassas astronomi ölçümlerinin, kozmolojinin spekülasyon ve tahmine dayalı bir alan olmaktan, gözlemler üzerinde sağlam bir biçimde yükselen bir alan olmaya terfi etmesini sağlamasıdır. Bu durum, pek çok kimsenin içinde yaşadığımız dönemi kozmolojinin altın çağı olarak nitelendirmesine neden olmuştur.

Bir Evren Yaratmak

Bu ilerlemeler sonucunda fizikçiler şişme kozmolojisinin daha nereye kadar gidebileceğini görmek için harekete geçtiler. Örneğin bu kuram, Leibniz'in evrenin neden var olduğu yolundaki sorusuyla özetlenen nihai sırrı çözebilir mi? En azından şu andaki kavrayış düzeyimizle, bu çok fazla şey istemek olur. Eğer bir kozmoloji kuramı bu soru karşısında bir ilerleme sağlayabilse bile, neden özel olarak bu kuramın -onun varsayımlarının, bileşenlerinin, denklemlerinin- amaca uygun olduğunu sorabiliriz, böylece de köken sorusunu bir adım daha geriye atabiliriz. Eğer evrenin var olması ve benzersiz bileşenleri olan tek bir yasa takımıyla yönetiliyor olması için, bir şekilde gerekli olan şey yalnızca mantık olsaydı, belki o zaman inandırıcı bir

öykümüz olurdu. Ama şimdiye kadar bu, boş bir umut olmanın ötesine geçmedi.

Bununla ilgili ama daha az tutkulu bir soru, çağlar boyunca farkı şekillerde sorulagelmiş olan bir soru da şudur: Evreni oluşturan bütün madde/enerji nereden geldi? Burada, her ne kadar şişme kozmolojisi tam cevabı vermiyor olsa da, bu soruyu, merak uyandırıcı, yeni bir ışık altında yeni bir şekle sokmuştur.

Nasıl olduğunu anlamak için, durmaksızın koşan ve zıplayan binlerce çocukla dolu olan dev boyutlu ama esnek bir kutu düşünün. Kutunun duvarlarının geçirgen olmadığını, bu yüzden ısı ve enerjinin dışarı kaçamayacağım, ama duvarlar esnek olduğu için dışarı doğru hareket edebileceğini varsayın. Çocuklar durmaksızın kutunun duvarlarına çarptıklarından -her an yüzlercesi- kutu sürekli olarak genişler. Şimdi, kutunun duvarları geçirgen olmadığı için, çocukların enerjisinin tümüyle genişlemekte olan kutunun içinde kalacağını bekleyebilirsiniz. Sonuçta, çocukların enerjisi başka nereye gidebilir? Bu, mantıklı bir önerme olmakla birlikte tam olarak doğru değil. Enerjinin gidebileceği bir yer var. Çocuklar duvara her çarptıklarında enerji harcarlar ve bu enerjinin çoğu duvarın hareketine aktarılır. Kutunun genişlemesi çocukların enerjilerini soğurarak tüketir.

Her ne kadar uzayın duvarları yoksa da, evren genişledikçe benzer tür enerji aktarımları olur. Tıpkı hızla hareket eden çocukların, genişlerken duvarın içeri doğru uyguladığı kuvvete karşı iş yapmaları gibi, evrende hızla hareket eden parçacıklar da, uzayın genişlerken içeri doğru uyguladığı kuvvete karşı iş yaparlar: Kütleçekimine karşı iş yaparlar. Tıpkı kutu genişlerken sürekli olarak duvarların enerjisine aktarılmasından dolayı çocukların enerjisinin azalması gibi, evren genişlerken sürekli olarak kütleçekimine aktarıldığı için bildiğimiz parçacıklar tarafından taşınan madde ve ışınım miktarı da azalır. Kısacası, kutunun duvarlarının içeri doğru uyguladığı kuvvetle kütleçekiminin içeri doğru uyguladığı kuvvet arasında bir benzerlik kurarak (bu, matematiksel olarak kurulabilecek bir benzerliktir), uzay şişerken kütleçekiminin de hızlı parçacıkların taşıdığı madde ve ışınımdaki enerjiyi azalttığı sonucuna varırız. Kozmik genişlemeden ötürü hızlı hareket eden parçacıkların enerji kaybettiği, mikrodalga fon ışınımı gözlemleriyle de doğrulanmıştır.

Şimdi, uzay genişlerken inflaton alanının enerji değiş-tokuşu tarifimizi nasıl etkilediği konusunda bir fikir sahibi olmak için, benzetmemizi birazcık değiştirelim. Çocukların arasında bulunan birkaç şakacının, kutunun dışarı doğru hareket eden duvarlarına, karşılıklı olarak lastik bantlar tutturduklarını varsayın. Lastik bantlar kutunun duvarlarına, çocukların uyguladığı dışarı

doğru, pozitif basıncın tam tersi etki yapan, içeri doğru, negatif bir basınç uygularlar; kutunun genişlemesine enerji aktarmak yerine, bu lastik bantların negatif basıncı, genişlemeden enerji "çalar". Kutu genişledikçe lastik bantlar giderek gerginleşir ve bu da bantlardaki enerjinin arttığı anlamına gelir.

Bu değiştirilmiş senaryo kozmoloji ile ilişkilidir, çünkü öğrenmiş olduğumuz gibi, şakacıların lastik bantlarına benzer biçimde, birörnek bir inflaton alanı da genişleyen evrende negatif bir basınç uygular. Bu yüzden, tıpkı kutunun duvarlarından enerji aldıkları için, kutu genişledikçe lastik bantlardaki toplam enerjinin artması gibi, evren genişlerken inflaton alanında somutlaşan toplam enerji de artar çünkü alan, kütleçekiminden enerji alır.

Özetleyecek olursak, evren genişledikçe madde ve ışınım enerji kaybeder, oysa inflaton alanı kütleçekiminden enerji kazanır.

Bu gözlemlerin son derece önemli doğası; yıldızları, galaksileri ve evrendeki her şeyi oluşturan madde ve ışınımın kökenini açıklamaya çalıştığımız zaman, açıkça ortaya çıkar. Standart Büyük Patlama kuramında madde ve ışınımın taşıdığı kütle/enerji evren genişledikçe sürekli bir biçimde azalmıştır ve bu yüzden, evrenin ilk dönemlerindeki kütle/enerji, bugün gözlediğimizden çok daha fazladır. Böylece, standart Büyük Patlama, evrende şu anda bulunan madde/enerjinin kökenini açıklamaya yönelik bir öneride bulunmak yerine, bitmeyecek, zor bir savaşı sürdürür: Kuram ne kadar geriye bakarsa, o kadar çok kütle/ enerjiyi bir şekilde açıklamak zorundadır.

Ama şişme kozmolojisinde çoğunlukla bunun tersi doğrudur. Şişme kuramının, madde ve ışınımın, şişme evresinin sonunda, potansiyel enerji kâsesinin dibine kayan inflaton alanının hapsolmuş olan enerjisinin serbest kalmasıyla oluştuğunu öne sürdüğünü hatırlayın. Bu yüzden, şişme evresi sona ererken, kuramın günümüz evrenindeki madde ve ışınımı ortaya çıkarmak için gerekli olan hayret uyandırıcı madde/enerji miktarında somutlaşan inflaton alanını açıklayıp açıklamadığı sorusu daha uygun bir sorudur.

Bu sorunun cevabı, kuramın neredeyse hiç zorlanmadan bunu yapabileceğidir. Biraz önce açıkladığımız gibi, inflaton alanı kütleçekiminin asalağıdır -ondan beslenir- ve bu yüzden, uzay genişledikçe inflaton alanının taşıdığı toplam enerji artar. Daha doğrusu matematiksel çözümleme, inflaton alanının enerji yoğunluğunun hızlı genişleme şeklinde ortaya çıkan şişme evresi süresince sabit kaldığını gösterir ki bu da, inflaton alanında somutlaşan toplam enerjinin, doldurduğu uzay hacmiyle orantılı olarak arttığı anlamına gelir. Bir önceki bölümde, şişme sırasında evrenin boyutunun en azından 1030 kat arttığını görmüştük ki bu, evrenin hacminin de (1030)3 = 1090 kat

büyümesi demektir. Sonuç olarak, inflaton alanında somutlaşan enerji de aynı oranda artmıştır. Şişme evresi biterken, yani başlamasından yalnızca 10-35 saniye sonra, inflaton alanının taşıdığı enerji en azından 1090 kat artmıştır. Bunun anlamı, devasa genişleme taşıdığı enerjiyi çok büyük oranda artırdığı için, şişmenin başlangıcında inflaton alanının çok fayla enerjiye ihtiyacının olmadığıdır. Basit bir hesap, birörnek inflaton alanıyla dolu olan -ve yaklaşık on kilogram gelen- 10-26 santimetre çapındaki minik bir külçenin, sonradan gelen şişme genişlemesi sırasında evrende şimdi gördüğümüz bütün enerjiyi açıklayabilecek kadar enerji kazanacağını gösterir.

Böylece, evrenin ilk dönemlerindeki toplam madde/enerjisinin devasa boyutlarda olduğunu savunan standart Büyük Patlama kuramıyla katı bir çelişki içinde olan şişme kozmolojisi, evrendeki bütün bilindik madde ve ışınımı, kütleçekimini "işleyerek", inflaton alanıyla dolu olan 10 kilogramlık bir külçeden üretebilir. Bu, hiçbir şekilde Leibniz'in sorduğu neden hiçbir şey yerine her şey var sorusuna cevap vermez, çünkü henüz neden inflaton olduğunu, hatta neden onun kapladığı bir uzay oluğunu açıklayamadık. Ama açıklama gerektiren şey her neyse, köpeğim Rocky'den daha hafiftir ve bu da standart Büyük Patlama'da düşünülenden çok daha farklı bir başlangıç noktasıdır.

Şişme, Pürüzsüzlük ve Zamanın Oku

Belki duyduğum coşku önyargımı gizliyor olabilir ama günümüzde bilimin elde ettiği bütün gelişmeler ve kozmolojideki bütün ilerlemeler içimi hayranlıkla karışık bir korku ve alçakgönüllülükle dolduruyor. Yıllar önce, genel göreliliğin temellerini okuyup uzay-zamandaki küçük köşemizde Einstein'ın kuramını uygulayarak bütün evrenin evrimini öğrenebileceğimizi fark ettiğim zaman hissetmiş olduğum aceleciliği hiç kaybetmedim. Şimdi, yirmi beş-otuz yıl sonra, teknolojideki ilerlemeler evrenin ilk anlarında nasıl davrandığıyla ilgili ve bir zamanlar soyut olan önerileri gözlemsel olarak sınıyor ve bu kuramlar gerçekten işliyorlar.

Ama kozmolojinin uzay ve zamanın öyküsüyle olan ilişkisinin yanısıra, 6. ve 7. Bölümlerde evrenin ilk dönemlerinin tarihini incelerken belirgin bir amaca yönelmiş olduğumuzu unutmayın: Zamanın okunun kökenini bulmak. O bölümlerden hatırlayacağınız gibi, zamanın okunu açıklamak için bulabildiğimiz en inandırıcı yapı, evrenin ilk dönemlerinde son derece düzenli olması, yani, sahneyi gelecekteki entropi artışına hazırlamak üzere, evrendeki

entropinin çok düşük olmasıydı. Nasıl Savaş ve Barışın yapraklarının verilen bir anda düzenli olmadıkları sürece, gittikçe daha karışık olma gibi bir kapasiteleri yoksa, evren de ilk dönemlerinde son derece düzenli olmadıkça, giderek daha düzensiz olma -süt dökülür, yumurtalar kırılır, insanlar yaşlanır- kapasitesine sahip değildir. Karşı karşıya olduğumuz bilmece, bu son derece düzenli, düşük entropili başlangıç noktasının nasıl ortaya çıktığıdır.

Şişme kozmolojisi bu konuda çok büyük ilerleme kaydetti ama ilgili ayrıntıların aklınızda kalmamış olma olasılığına karşı önce size bilmeceyi tam olarak hatırlatayım.

Evrenin tarihinin ilk dönemlerinde, maddenin uzaya birörnek yayıldığı konusunda güçlü kanıtlar vardır ve bu konuda neredeyse hiç kuşku yoktur. Bu, genellikle yüksek entropili bir durum olarak nitelendirilir -kapağı açıldığında kola şişesinin içinden çıkıp bütün odaya birörnek yayılan karbondioksit molekülleri gibi- ve bu yüzden çok yaygın olup, bir açıklama gerektirmez. Ama bütün evreni göz önüne aldığımız zaman, yani işin içine kütleçekimi girdiğinde, birörnek madde dağılımı ender görülen, düşük entropili ve yüksek ölçüde düzenli bir durumdur, çünkü kütleçekimi maddeyi kümeleşmeye zorlar. Benzer biçimde, pürüzsüz ve birörnek bir uzaysal eğriliğin entropisi de çok düşüktür; inişli-çıkışlı, birörnek olmayan bir uzaysal eğrilikle kıyaslandığında, yüksek ölçüde düzenlidir. (Nasıl Savaş ve Barış ın yapraklarının düzensiz olmasının pek çok şekli, düzenli olmasınınsa yalnız tek bir şekli varsa, uzayın da düzensiz, birörnek olmayan bir şekle sahip olmasının birçok yolu varken, tam olarak düzenli, pürüzsüz ve birörnek olmasının çok az yolu vardır.) Bilmece şudur: Neden evrenin ilk dönemlerinde madde dağınık kara delikler gibi yüksek entropili (yüksek ölçüde düzensiz) kümeli bir dağılım yerine, düşük entropili (yüksek ölçüde düzenli) birörnek bir dağılım sergiliyordu? Uzayın eğriliği niçin kara deliklerin yol açtığına benzer büyük çarpılmalar ve ciddi eğrilmeler göstermek yerine büyük ölçüde pürüzsüz, düzenli ve birörnekti?

İlk olarak Paul Davies ve Don Page tarafından ayrıntılı olarak incelendiği gibi, şişme kozmolojisi bu konularda önemli görüşlere sahiptir. Bunun nasıl olduğunu görmek için, bilmecenin temel varsayımının şunlar olduğunu aklınızda tutun: Herhangi bir yerde bir kümelenme ortaya çıktığında, oradaki daha yüksek kütleçekimi alanı daha fazla madde çeker ve kümelenmeyi büyütür. Benzer şekilde uzayda herhangi bir yerde bir kırışıklık ortaya çıktığında, orada daha büyük olan kütleçekimi, kırışıklığı daha da artırır ve düzensiz, son derece birörnek olmayan bir uzaysal eğrilik ortaya çıkarır. İşin

içine kütleçekimi girdiği zaman, sıradan, önemsiz, yüksek entropili durumlar kümeli ve yumruludur.

Ama şuna dikkat edin: Bu düşünüş mantığı tümüyle bildiğimiz kütleçekiminin çekici doğasına dayanır. Küme ve yumrular büyür çünkü bunlar çevredeki maddeyi çekerek kendilerine katarlar. Ama kısa şişme evresi süresince, kütleçekimi iticiydi ve bu her şeyi değiştirdi. Uzayın şeklini ele alalım. İtici kütleçekimini dışarı doğru devasa itmesi uzayı o kadar hızla şişirdi ki, tıpkı buruşuk bir balonun şişirildiği zaman yüzeyindeki kırışıklıkların gerilerek kaybolması gibi, başlangıçtaki yumru ve çarpıklıklar pürüzsüzce gerildi. Dahası, uzayın hacmi, bu kısa şişme döneminde devasa bir faktörle büyüdüğü için, tıpkı akvaryumunuzun hacmini olimpik yüzme havuzu kadar büyütmeniz sonucunda balık yoğunluğunun azalması gibi, madde kümelerinin yoğunluğu da azaldı. Bu nedenle, her ne kadar çekici kütleçekimi maddenin kümelenmesine ve uzaydaki kırışıklıkların büyümesine yol açmaktaysa da, itici kütleçekimi bunun tersini yapar: Kümeleri ve kırışıklıkları küçülterek daha pürüzsüz, daha birörnek bir sonucun ortaya çıkmasını sağlar.

Böylece, şişme patlamasının sonunda, evrenin boyutu devasa bir şekilde büyümüş, uzayın eğriliğinde var olan birörneklik bozuklukları gerilerek giderilmiş ve başlangıçtaki kümelerin tamamı dağılmıştı. Üstelik inflaton alanı potansiyel enerji kâsesinin dibine kayarken şişme dönemini kapatmış, hapsolmuş enerjisi ise uzayı birörnek dolduran, bildiğimiz parçacıklardan oluşan bir denize dönüşmüştü (kuantum titreniminden kaynaklanan minik ama kritik derecede önemli türdeşlik bozukluklarına kadar birörnek). Toplamda bu, kulağa büyük bir ilerlemeymiş gibi geliyor. Şişme yoluyla ulaştığımız sonuç -neredeyse maddenin birörnek dağılımının gözlendiği pürüzsüz, birörnek uzaysal genişleme- tam olarak açıklamaya çalıştığımız şeydi. Tam olarak zamanın okunu açıklayabilmemiz için gerekli olan düşük-entropili durumdu.

Entropi ve Şişme

Gerçekten, bu anlamlı bir süreçtir. Ama geriye iki önemli konu kalıyor.

Birincisi, şişme patlamasının her şeyi pürüzsüzleştirerek toplam entropiyi azaltması gibi termodinamiğin ikinci yasasını ihlal ettiği izlenimi veren bir fiziksel süreci -yalnızca istatistiksel bir çalkantı değil- andıran bir sonuca ulaşmışız gibi görünüyor. Durum böyle olsaydı, ya ikinci yasayı kavrayışımız, ya da şimdiki mantığımız hatalı olurdu. Gerçekte ise, bu iki seçenekten biriyle karşı karşıya kalmak durumunda değiliz çünkü şişmenin sonucu olarak entropi

azalmaz. Şişme patlaması sırasında aslında entropi artar ama artabilecek olduğu miktardan çok daha az artar. Gördüğünüz gibi, şişme döneminin sonunda uzay pürüzsüzce gerilmişti ve bu yüzden entropiye -uzayın olası kümeli, düzensiz, birörnek olmayan yapısı ile ilgili olan entropi- olan kütleçekimsel katkısı çok azdı. Bununla birlikte, inflaton alanı enerji kâsesinin dibine kayarak hapsolmuş olan enerjisi serbest kalınca, tahminen 1080 parçacık ve ışınım üretmiştir. Böylesi devasa sayıdaki parçacık, tıpkı devasa sayıda sayfaya sahip bir kitap gibi, devasa miktarda entropi barındırır. Bu yüzden, kütleçekimsel entropi azalmış olsa bile, bütün bu parçacıkların üretilmesinden kaynaklanan entropi artışı, karşılanacak gibi değildir. ikinci yasadan beklediğimiz gibi, toplam entropi artmıştır.

Ama ki bu önemli bir noktadır, şişme patlaması uzayı pürüzsüzleştirerek ve türdeş, birörnek, düşük entropili bir kütleçekimi alanı sağlayarak, kütleçekiminin yaptığı katkıyla yapabileceği arasında çok büyük bir boşluk yarattı. Şişme sırasında toplam entropi arttı ama artmış olabileceği miktarla kıyaslandığında önemsiz denebilecek bir miktarda arttı. İşte bu anlamda şişme düşük entropili bir evren ortaya çıkarmıştır: Şişme sonunda entropi artmıştı ama bu artış hiçbir yerde uzaysal genişlemenin arttığı oranda olmamıştı. Eğer entropi arazi vergisine benzetilecek olursa, bu New York kentiyle Büyük Sahra nın karşılaştırılmasına benzer. Büyük sahrada toplanacak vergi daha çok olmakla birlikte, toplam alanın büyümesiyle kıyaslandığında çok az artmış olur.

Şişmenin bitmesinden bu yana, kütleçekimi entropi farkını kapamaya çalışıyor. Kütleçekiminin sonradan birörneklikten çıkardığı (kuantum titrenimi kökenli birörneklik bozukluğundan gelen) her küme -ister galaksi olsun, ister galakside bir yıldız veya bir gezegen ya da bir kara delik- entropiyi artırmıştır ve kütleçekimini entropi amacına bir adım daha yaklaştırmıştır. O zaman, bu anlamda şişme, göreceli olarak düşük entropili, büyük bir evrenle sonuçlanmış olan bir mekanizmadır ve bu yolla sahneyi, sonuçlarına şimdi tanık olduğumuz, milyarlarca yıllık kütleçekimsel kümelenme için hazırlamıştır. Böylece şişme kozmolojisi zamanın okuna, son derece düşük kütleçekimsel entropili bir geçmiş yaratarak bir yön vermiştir; gelecek, entropinin arttığı yöndür.

İkinci konu Bölüm 6'da zamanın okunun bizi yönlendirmiş olduğu yolda yürümeye devam ettiğimizde görünür hale gelir. Bir yumurtadan onu yumurtlayan tavuğa, oradan tavuğun yemine, bitkiler alemine, Güneş'in ısı ve ışığına, Büyük Patlama’nın birörnek dağılmış ilkel gazlarına kadar, evrenin evrimini, git gide daha düzenli hale gelen geçmişe doğru izlemiş, her adımda

düşük entropi bilmecesini zamanda bir adım geriye ötelemiş- tik. Şişme genişlemesinin daha da erken bir döneminin, Büyük Patlama'nın pürüzsüz ve birörnek sonucunu doğal bir biçimde açıklayabileceğini ancak şimdi fark ettik. Ama ya şişmenin kendisi? izlediğimiz bu zincirin ilk halkasını açıklayabilir miyiz? Koşulların bir şişme patlamasının ortaya çıkması için neden uygun olduğunu açıklayabilir miyiz?

Bu konu çok önemlidir. Şişme kozmolojisi kuramsal olarak kaç tane bilmece çözmüş olursa olsun, bir şişme genişlemesi dönemi hiçbir zaman olmadıysa, bu yaklaşım ilgisiz olacaktır. Üstelik evrenin ilk dönemlerine geri dönüp şişmenin gerçekten olup olmadığını doğrudan belirleyemeyeceğimiz için, zamanın okunun yönünü seçerken gerçek bir ilerleme kaydedip etmediğimizin değerlendirilmesi, şişme patlaması için gerekli olan koşulların ortaya çıkmış olma olasılığını belirlememizi gerektirir. Yani standart Büyük Patlama’nın, gözlemsel olarak motive edici olmakla birlikte kuramsal olarak açıklanamayan, çok iyi ayarlanmış birörnek başlangıç koşullarına bağlı olması fizikçilerin tüylerini diken diken eder. Evrenin ilk dönemlerinin düşük-entropili bir durumda olduğunun basitçe varsayılması son derece rahatsız edicidir; zamanın okunun evrene bir açıklama olmadan, zorla uygulanması bir boşluk hissi doğurur. ilk bakışta şişme, Büyük Patlama'da standart olduğu varsayılan özelliklerin şişme evriminden kaynaklandığını göstererek bir ilerleme önerir. Ama eğer şişmenin başlatılması, çok özel, son derece düşük-entropili başka koşulların varlığını da gerektiriyorsa, o zaman başladığımız noktaya döneriz. Büyük Patlama'nın özel koşullarını, şişmeyi başlatmak için gerekli olan koşullarla değiş-tokuş etmiş oluruz ve zamanın oku bilmecesi, gizemini korumayı sürdürür.

Şişme için gerekli olan koşullar nelerdir? Şişmenin, inflaton alanının değerinin, bir an için potansiyel enerji kâsesinin ortasındaki yüksek-enerji düzlüğünde, minik bir bölgenin içinde takılmasının kaçınılmaz sonucu olduğunu görmüştük. Bu nedenle görevimiz, şişme için bu başlangıç durumunun gerçekten ne kadar olası olduğunu belirlemektir. Eğer şişmeyi başlatmanın kolay olduğu ortaya çıkarsa, çok iyi bir durumda olacağız. Ama gerekli koşulların ortaya çıkma olasılığı son derece düşükse, zamanın oku sorusunu -topun yuvarlanmasını başlatan düşük- entropili inflaton alanı durumuna bir açıklama bulma görevini- zamanda bir adım geriye atmış olacağız.

Önce bu konu üzerindeki çağdaş düşünüş şeklini çok iyimser bir ışık altında betimleyecek, sonra da öykünün bulanık kalan temel öğelerine geri döneceğim.

Boltzmann'ın Dönüşü

Geçen bölümde söz edildiği gibi, şişme patlamasını, evrenin kendi yaratılışı olarak düşünmek yerine daha önceden var olan bir evrende yer alan bir olay olarak düşünmek daha doğrudur. Her ne kadar bu şişme-öncesi dönemde evrenin neye benzediği konusunda eleştirilemez bir kavrayışımız olmasa da, eğer her şeyin son derece sıradan, yüksek entropili bir durumda olduğunu varsayarsak, nereye kadar gidebileceğimizi bir görelim. Özel olarak, ilkel, şişme öncesi uzayın büzülme ve kabarıklıklarla delik-deşik olduğunu ve inflaton alanının son derece düzensiz, değerininse sıcak metal kâsenin içindeki kurbağa gibi ileri-geri sıçramakta olduğunu varsayalım.

Şimdi, tıpkı kollu bir kumar makinesinde yeterince sabır göstererek uzun süre oynadığımızda rastgele dönen göstergelerin er geç üç pencerede de mücevher resminde durmasını bekleyeceğimiz gibi, ilkel evrenin bu son derece yüksek enerjili, çalkantılı arenasında er geç ortaya çıkacak olan rastgele bir dalgalanmanın, uzayın minik bir külçesinde inflaton alanının değerinin doğru, birörnek değerine sıçramasına neden olarak şişme genişlemesinin dışarı doğru patlamasını başlatmasını bekleriz. Önceki alt bölümde açıklandığı gibi, hesaplar, şimdi gördüğümüz evrenden daha büyük boyutlara kadar gerilen kozmolojik bir genişlemeyi (şişme genişlemesini izleyen standart Büyük Patlama genişlemesi) ortaya çıkarmak için uzay külçesinin son derece minik - yaklaşık 1026 santimetre boyutlarında- olmasının yeterli olduğunu gösteriyor. Bu yüzden, evrenin ilk dönemlerindeki koşulların, şişme genişlemesinin ortaya çıkması için uygun olduğunu varsaymak veya basit bir biçimde bildirmek yerine, bu düşünme şekline göre, sıradan, önemsiz bir düzensizlik ortamında oluşan ve yalnızca 10 kilogram gelen ultra mikroskopik bir dalgalanma, gerekli koşulları ortaya çıkarır.

Dahası, tıpkı kollu bir kumar makinesinin, kazandırmayan pek çok sonuç da ürettiği gibi, ilkel uzayın başka bölümlerinde başka tür inflaton alanı dalgalanmaları da ortaya çıkmış olabilirdi. Bunların çoğunda, ya dalgalanmalar doğru değere sahip değillerdi ya da şişme genişlemesinin ortaya çıkamayacağı kadar birörnektiler. (Yalnızca 1026 santimetre boyutlarındaki bir bölgede bile bir alan, çok farklı değerler alabilir.) Ama bizi ilgilendiren şey, düşük-entropi zincirinin ilk halkasını sağlayan ve sonuç olarak bildiğimiz evrenle sonuçlanan, uzay-pürüzsüzleştirici bir şişme patlamasına yol açmış olan bir külçenin bulunmasıydı. Yalnızca tek ve büyük evrenimizi gördüğümüz için, kozmik kumar makinesine yalnızca bir kere ödeme yapmak zorundayız.

Evreni ilkel karmaşadaki istatistiksel dalgalanmaya kadar izlediğimiz için, zamanın okuna getirdiğimiz bu açıklama Boltzmann'ın özgün önerisiyle bazı ortak özelliklere sahiptir. Bölüm 6'dan Boltzmann'ın, şimdi gördüğümüz her şeyin, tam düzensizlikten ender ama ara sıra beklenebilecek bir dalgalanma sonucunda ortaya çıktığını ileri sürdüğünü hatırlayın. Ama Boltzmann'ın özgün formülleştirmesindeki sorun, rastgele bir dalganın nasıl olup da bu kadar ileri giderek, bildiğimiz kadarıyla hayatı ortaya çıkarmak için gerekli olandan bile çok daha fazla düzenli bir evren ortaya çıkardığını açıklayamamasıydı. Neden evren kestirmeden giderek birkaç tane, hatta tek bir galaksiye sahip olabilecekken, milyarlarca ve milyarlarca galaksiye, bu galaksilerin her birinde de milyarlarca ve milyarlarca yıldıza sahip olacak kadar büyüktür?

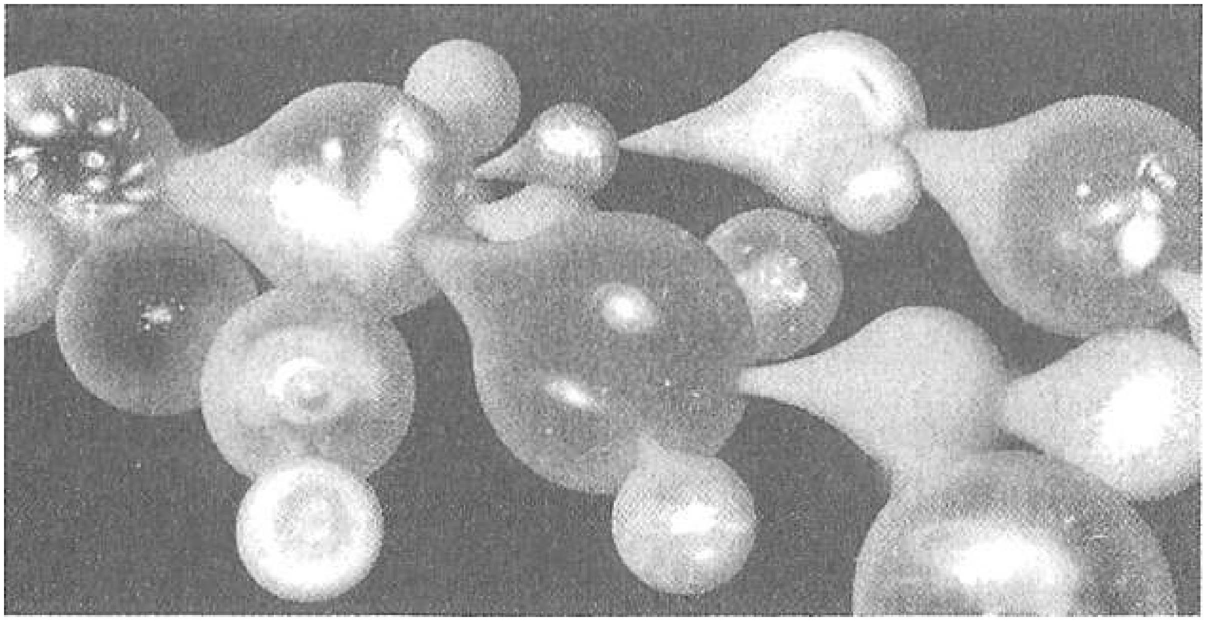
İstatistiksel bakış açısından, şimdi görmekte olduğumuz kadar değil de, biraz daha az bir düzen ortaya çıkaracak, daha mütevazı bir dalgalanmanın olasılığı çok daha yüksekti. Üstelik ortalama olarak entropi yükselmekte olduğundan, Boltzmann’ın mantığı, bugün görmekte olduğumuz her şeyin, daha düşük entropiye istatistiksel bir sıçramanın sonucu olduğunu söyler. Bunun nedenini hatırlayın: Dalgalanma ne kadar eskiden olmuşsa, ulaşmış olması gereken entropi o kadar düşük olur (entropi, Şekil 6.4' te görüldüğü gibi, en düşük entropili noktadan sonra yükselmeye başlar, bu yüzden eğer dalgalanma dün olduysa, entropi dün en düşük noktasındadır, eğer dalgalanma bir milyar yıl önce olduysa, o dönemin en düşük entropi değerinde demektir). Bu nedenle, zamanda ne kadar geriye gidilirse, gereken dalgalanma o kadar şiddetli ve olasılığı da o kadar düşük olur. Böylece, sıçramanın yakında olmuş olmasının olasılığı çok yüksektir. Ama eğer bu sonucu kabul edersek, belleklere, kayıtlara ve tartışmanın kendisinin altında yatan fizik yasalarına güvenemeyiz ve bu, tam olarak hoş görülemez bir konum olur.

Boltzmann'ın fikrinin şişmedeki somut örneğinin büyük avantajı, ilk dönemlerdeki küçük bir dalgalanmanın -uzaydaki minik bir külçenin içinde, uygun koşullara doğru mütevazı bir sıçramanın- kaçınılmaz olarak, şu an gördüğümüz devasa boyutlardaki ve düzenli evrene yol açmasıdır. Şişme genişlemesi bir kere başladığında, küçük külçe amansızca en azman şimdi görmekte olduğumuz evren ölçeklerine kadar gerildi, işte bu yüzden ortada evrenin neden kestirmeden gitmediğine ilişkin bir sır yoktur; evrenin neden bu kadar büyük ve böylesine çok sayıda galaksi ile dolu olduğu bir sır değildir. Başlangıçtan bu yana, şişme evrene çok şey vermiştir. Uzaydaki minik bir külçenin içinde daha düşük entropiye doğru olan bir sıçrama, şişme genişlemesinin yarattığı kaldıraç etkisiyle evrenin devasa uzaklıklarına dönüşmüştür. En önemlisi, şişme sonucu gerilme herhangi, eski bir evrene yol açmadı. Bizim büyük evrenimize yol açtı; şişme uzayın şeklini açıklar, büyük-

ölçekli birörnekliği açıklar, hatta galaksilerin varlığı ve fon ışınımının sıcaklığındaki değişiklikler gibi "daha küçük-ölçekli" türdeşlik bozukluklarını da açıklar. Şişme, büyük bir açıklama ve tahmin gücünü, düşük entropiye doğru olan bir sıçramanın içinde ambalajlar.

Ve böylece belki de Boltzmann'ın haklı olabileceği ortaya çıkar. Görmekte olduğumuz her şey, son derece düzensiz olan ilkel karmaşadan rastlantısal bir dalgalanmayla ortaya çıkmış olabilir. Onun görüşlerinin bu kavrayışıyla kayıtlarımıza ve belleklerimize güvenebiliriz: Dalgalanma hemen biraz önce olmadı. Geçmiş, gerçekten vardı. Kayıtlarımız, gerçekleşmiş olan şeylerin kayıtlarıdır. Şişme genişlemesi evrenin ilk dönemlerinde var olan düzenli ve minik bir külçeyi büyüttü -evreni en düşük entropiyle dev bir büyüklüğe kadar "kurdu"- bu yüzden, sonraki 14 milyar yıl boyunca süren çözülme, galaksiler, yıldızlar ve gezegenler biçimindeki kümelenme artık bir bilmece olmaktan çıktı.

Aslında bu yaklaşım bize biraz daha fazla bir şeyler bile söyler. Tıpkı Bellagio'nun zemin katındaki birkaç kumar makinesinde birden, bir numara ile büyük ikramiyeyi kazanma olasılığının olması gibi, yüksek entropili ve tam bir karmaşa olan ilkel durumda, şişme genişlemesi için gerekli olan koşulların yalnızca tek bir uzaysal külçede bulunması için hiçbir neden yoktu. Andrei Linde, şuraya buraya saçılmış durumda bulunan birçok külçede birden uzay-pürüzsüzleştirici şişme-genişlemenin gerçekleşmiş olabileceğini ileri sürdü. Eğer durum böyle ise, evrenimiz, rasgele dalgalanmalar, koşulları Şekil 11.2'de gösterildiği gibi, şişme patlaması için uygun hale getirdiğinde tomurcuklanan -ve belki de tomurcuklanmayı sürdüren- pek çok evrenden yalnızca biridir. Bu diğer evrenlerin sonsuza kadar bizim evrenimizden ayrı olma olasılığı yüksek olduğu için, bu "çoklu evren" resminin doğru olup olmadığını nasıl anlayabileceğimizi göz önüne getirmek zordur. Bununla birlikte, kavramsal bir yapı olarak hem zengin, hem de umut vericidir. Diğer şeylerin yanısıra, kozmoloji hakkında nasıl düşüneceğimiz konusunda olası bir değişiklik önerir: Bölüm 10'da şişmeyi, standart Büyük Patlama kuramının, patlamanın hızlı bir genişleme ile tanımlandığı "ön kenarı" olarak betimlemiştim. Ama eğer Şekil 11.2'deki her yeni evrenin şişme tomurcuklanmasını, kendi patlaması olarak düşünürsek, o zaman şişmenin kendisini gözde canlandırmanın en iyi yolu, bunları içlerinde Büyük Patlama benzeri evrimlerin olduğu, üst üste kapanan soğan kabuğu gibi kozmolojik yapılar olarak düşünmektir. Böylece, bu yaklaşımda şişmenin standart Büyük Patlamaya katılması değil, standart Büyük Patlama'nın şişmeye katılması söz konusudur.



Şekil 11.2 Şişme, eski evrenlerden yenilerini tomurcuklandırmak şeklinde tekrar tekrar ortaya çıkabilir.

Şişme ve Yumurtalar

O zaman neden bir yumurtanın kırıldığını görüyoruz da yapıştığını görmüyoruz? Hepimizin sonuçlarını gördüğü zamanın oku nereden geliyor? Bu yaklaşımın bizi getirdiği yer şu: Başlangıçtaki yüksek entropili durumdan, ender fakat zaman zaman beklenebilecek bir dalgalanma sonucunda, yaklaşık on kilogramlık minik bir uzay külçesi hızlı bir şişme genişlemesi için gerekli olan koşullara kavuştu. Dışarı doğru olan bu inanılmaz şişme, uzayın devasa boyutlarda gerilmesi ve pürüzsüzleşmesiyle sonuçlandı ve şişme biterken, inflaton alanı çok yükselmiş olan enerjisini serbest bırakarak uzayı hemen hemen birörnek madde ve ışınımla doldurdu. Inflatonun itici kütleçekimi azalırken bildiğimiz, çekici kütleçekimi baskın hale geldi. Görmüş olduğumuz gibi, çekici kütleçekimi kuantum titrenimi sonucunda oluşan türdeşlik bozukluklarını kullanarak maddenin kümeleşmesine neden oldu, galaksileri, yıldızları ve sonunda Güneş'i, Dünyayı, güneş sisteminin kalanını ve gözlenebilir evrenin diğer özelliklerini ortaya çıkardı. (incelediğimiz gibi, Büyük Patlama'dan milyar yıl ya da biraz daha sonra, itici kütleçekimi bir kere daha baskın hale geldi ama bu kez en büyük kozmik ölçeklerle ilişkiliydi, bildiğimiz kütleçekiminin hâlâ egemen olduğu galaksi ve güneş sistemi gibi göreli olarak daha küçük sistemler üzerinde doğrudan hiç etkisi olmadı.) Dünya daki düşük-entropili bitkiler ve hayvanlar Güneş'in göreli olarak düşük-

entropili enerjisini kullanarak başka düşük-entropili hayat biçimleri ortaya çıkararak toplam entropiyi ısı ve atık üretimi yoluyla artırdılar. Sonunda bu zincir, yumurtayı yumurtlayan tavuğu ortaya çıkardı, öykünün gerisini zaten biliyorsunuz: Mutfak tezgâhının üzerinde yuvarlanarak evrenin daha yüksek entropiye doğru amansızca gidişinin bir parçası olarak yere düşüp kırıldı. Bütün sayfaları yerli yerinde, sıralı olan Savaş ve Barış'a benzeyen, şişmeye bağlı gerilme sonucu ortaya çıkan, uzayın düşük-entropili, yüksek ölçüde düzenli ve birörnek şekilde pürüzsüz olan dokusudur. işte evreni sonraki, daha yüksek entropiye doğru evrime hazırlayan ve böylece hepimizin bildiği zamanın okunu ortaya koyan, bu ilk düzenli -ciddi yumruların, büzülmelerin ve dev kara deliklerin olmadığı- durumdur. Şu andaki kavrayışımızla zamanın okuna getirilmiş olan en tam açıklama budur.

Eksik Kalan Nokta?

Ben, bu şişme kozmolojisi ve zamanın oku öyküsünü çok güzel buluyorum. Vahşi ve enerjik ilkel karmaşa ortamında, ağırlığı uçak yolculuğunda izin verilen bagaj ağırlığından daha az olan birörnek inflaton alanının mikroskopik-ötesi bir salınımı ortaya çıktı. Bu, zamanın okunun yönünü belirleyen bir şişme genişlemesi başlattı. Gerisi tarihtir.

Ama bu öyküyü anlatırken, henüz doğrulanmamış olan çok önemli bir varsayım yaptık. Şişmenin başlamış olma olasılığını değerlendirirken, içinden şişme genişlemesinin çıktığını öne sürdüğümüz şişme-öncesi ortamın niteliklerini belirlemiş olmak zorundaydık. Zihnimizde canlandırdığımız özel ortam -vahşi, karmaşık, enerjik- kulağa mantıklı geliyor ama bu tanımı matematiksel bir kesinlikle tarif etmek zordur. Dahası, bu yalnızca bir tahmin olur. Varlığı ileri sürülen şişme öncesi ortamdaki, yani Şekil 10.3'te görülen bulanık bölgedeki koşulların nasıl olduğunu bilmiyoruz. Bu bilgi olmaksızın şişmenin başlamış olma olasılığını inandırıcı bir şekilde değerlendiremeyiz; oysa herhangi bir olasılığın hesaplanması yaptığımız varsayımlara son derece hassas bir şekilde bağlıdır.

Kavrayışımızdaki bu eksiklikle yapılabilecek en anlamlı özet şudur: Şişme, görünürde birbirleriyle bağlantısız problemleri -ufuk problemi, düzlük problemi, yapının kökeni problemi, evrenin ilk dönemlerindeki düşük-enerji problemi- bir araya getiren güçlü, açıklayıcı bir yapı ortaya koyar ve bunların hepsine ortak bir çözüm önerir. Bu, doğru olduğu duygusu uyandırıyor. Ama diğer adıma geçmek için, bulanık bölgenin karakteristiği olan uç koşullarla

-çok yüksek sıcaklık ve yoğunluk- başa çıkabilecek bir kurama ihtiyacımız vardır. Ancak bu şekilde evrenin ilk dönemlerine ilişkin kesin ve kuşkusuz bir görüşe sahip olma şansımız olur.

Önümüzdeki bölümde öğreneceğimiz gibi, bu belki de son seksen yıldır kuramsal fiziğin karşılaştığı en büyük engeli, genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki temel çatışmayı giderebilecek bir kuramı gerektirir. Birçok araştırmacı, süpersicim kuramı adı verilen yeni yaklaşımın bunu başarmış olabileceğine inanıyor, ama eğer süpersicim kuramı doğru ise, evrenin dokusu kimsenin tahmin edemeyeceği kadar tuhaftır.

4 – KÖKENLER VE BİRLEŞME

XII. Bölüm - Bir Sicimin Üzerindeki Dünya

Sicim Kuramına Göre Doku

Anlamanız gereken her şeyi anladığınız bir dünyada yaşamakta olduğunuzu varsayın. Bir gezegenin neden bir yıldızın etrafında dolandığı, bir beyzbol topunun neden belirli bir yörüngede hareket ettiği, bir mıknatıs ya da pilin nasıl çalıştığı, ışık ve kütleçekiminin nasıl işlediği konularında bir şey söylemek için -herhangi bir şey üzerinde herhangi bir şey söylemek için- en temel yasaları ortaya çıkarmanız ve bunların maddenin en küçük bileşenleri üzerinde nasıl etki yaptığını belirlemeniz gereken bir evren. Neyse ki bu evren bizim evrenimiz değil.

Eğer bizim evrenimiz böyle olsaydı, bilim herhangi bir ilerleme kaydedemezdi. Yüzyıllar boyunca ilerleme sağlayabilmiş olmamızın nedeni, küçük parçalar üzerinde çalışabiliyor olmamızdır; sırları, her yeni keşfin bir öncekinden daha derine indiği, adım adım çözme yeteneğimizdir. Newton'un hareket ve kütleçekimi konularında dev adımlar atmak için atomlar hakkında bir şey bilmesi gerekmemişti. Maxwell'in güçlü bir elektromanyetizma kuramı geliştirebilmek için elektronlar ve diğer elektrik yüklü parçacıklar konusunda bilgi sahibi olmaya ihtiyacı yoktu. Uzay ve zamanın kütleçekiminin etkisi altında nasıl eğrildiği konusunda bir kuram ortaya koyabilmek için Einstein'ın, bu kavramların en başta nasıl ortaya çıktığından haberdar olması gerekmemişti. Bu keşiflerin ve modern evren kavrayışımızın altında yatan diğer keşiflerin her biri kaçınılmaz olarak arkalarında cevapsız sorular bırakarak sınırlı bir bağlamda ilerlemişti. Hiç kimse bilmecenin parçaları birleştiğinde ortaya çıkacak büyük resmin ne olduğunu bilmediği halde -hâlâ bilmiyoruz- her keşif bilmecenin bir parçasını daha yerine koyabilmişti.

Bununla yakından bağlantılı bir gözlem, her ne kadar bilim bugün elli yıl öncekinden bile son derece farklı olsa da, bilimsel ilerlemenin her kuramın kendinden önce geleni çöpe atması olarak özetlemenin yüzeysel kalacağıdır. Daha doğru bir tanımlama, her yeni kuramın daha kesin ve daha geniş etkili bir yapı oluşturarak kendinden önce gelen kuramları rafine ettiğidir.

Einstein'ın genel göreliliği Newton kuramını aşmıştır ama Newton kuramının yanlış olduğunu söylemek saflık olur. Işık hızına yakın hızlarda hareket etmeyen ve kara deliklerinki kadar güçlü kütleçekimi alanları üretmeyen cisimlerin dünyasında Newton kuramı son derece doğrudur. Ama bu, Einstein'ın kuramının Newton'unkinin küçük bir değişiklik yapılmış bir hali olduğu anlamına gelmez; Newton'un kütleçekimine yaklaşımını geliştirirken Einstein uzay ve zaman kavramlarımızı kökten değiştiren, yepyeni kavramsal bir şema yaratmıştır. Ama Newton kuramının hedeflediği alandaki (gezegenlerin hareketi, genel uzaysal hareketler, vb.) gücü, kesinlikle sarsılmazdır.

Biz her yeni kuramın, bizi gerçek adını verdiğimiz elle tutulamaz amacımıza yaklaştırdığını düşünüyoruz ama, nihai bir kuramın -evrenin işleyişini olabilecek en derin düzeyde ortaya koyduğu için daha fazla rafine edilemeyen bir kuramın- bulunup bulunmadığı hiç kimsenin cevaplayamayacağı bir sorudur. Böyle olsa bile, son üç yüz yıldaki keşiflerin izlediği desen, böyle bir kuramın geliştirilebileceği yolunda çarpıcı kanıtlar ortaya koyuyor. Aşağı yukarı her yeni atılım, daha geniş bir olaylar dizisini daha az sayıdaki kuramsal şemsiye altında açıklayabiliyor. Newton un keşifleri gezegenlerin hareketlerini yöneten kuvvetlerin, Dünya yüzeyine düşmekte olan cisimlerin hareketlerini yönetenlerle aynı olduğunu ortaya koydu. Maxwell'in keşifleri elektrik ve manyetizmanın bir madeni paranın iki yüzü gibi olduğunu gösterdi. Einstein'ın keşifleri uzay ve zamanın, Midas'ın dokunuşu ve altın kadar ayrılamaz olduğunu gösterdi. Yirminci yüzyılın başlarında bir fizikçi kuşağının keşifleri, mikrofiziğin pek çok sırrının kuantum mekaniği kullanılarak tam olarak çözülebileceğini ortaya koydu. Çok daha yakın zamanlarda Sheldon, Glashow ve Salam'ın keşifleri elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvetlerin tek bir kuvvetin -elektrozayıf kuvvetin- iki ayrı görünümü olduğunu ve daha geniş bir sentezde güçlü nükleer kuvvetin de elektrozayıf kuvvete katılabileceği yolunda deneysel ve ayrıntılı kanıtlar bulunduğunu gösterdi. Tüm bunları birleştirdiğimizde karmaşıklıktan basitliğe, çeşitlilikten tekliğe giden bir desen görüyoruz. Açıklayıcı oklar, doğadaki bütün kuvvetleri ve bütün maddeyi, bütün fiziksel olayları açıklama yeteneğine sahip olan, güçlü ama henüz keşfedilmemiş olan tek bir yapıda birleştirecek bir kurama doğru yönelmiş gibi duruyor.

30 yıldan daha uzun bir süre boyunca elektromanyetizma ile genel göreliliği tek bir kuram altında birleştirmeye çalışmış olan Einstein, haklı

olarak çağdaş birleşik kuram araştırmalarının öncüsü sayılır. Bu yıllar boyunca uzun sürelerle Einstein, birleşik kuram konusundaki araştırmaları tek başına sürdürdü, bu arada tutkulu fakat yalnız mücadelesi onu fizik toplumunun geri kalanından kopardı. Aslında son yirmi yılda birleşik kuram araştırmalarında bir canlanma oldu; Einstein'ın yalnız rüyası tüm bir fizikçi kuşağının itici gücü haline gelmişti. Ama Einstein'ın zamanından günümüze doğru araştırmalarda bir odak kayması oldu. Henüz güçlü nükleer kuvvetle elektrozayıf kuvveti birleştiren başarılı bir kurama sahip olmasak bile, bu kuvvetlerin her üçü de (elektromanyetik, zayıf, güçlü) kuantum mekaniğine dayanan tek ve birörnek bir dille tanımlanmıştır. Ama dördüncü kuvvetin en rafine kuramı olan genel görelilik, bu yapının dışında kalmıştır. Genel görelilik klasik bir kuramdır: Kuantum kuramının olasılık içeren kavramlarından herhangi biriyle işbirliği içine girmez. Bu yüzden modern birleşme programının en önemli hedeflerinden biri, genel göreliliği kuantum mekaniği ile birleştirmek ve dört kuvveti de kuantum mekaniğine özgü tek yapı içinde tanımlamaktır. Bunun da kuramsal fiziğin şimdiye kadar karşılaştığı en güç problemlerden biri olduğu kanıtlanmıştır.

Bunun neden böyle olduğunu görelim.

Kuantum Titrenimleri ve Boş Uzay

Eğer kuantum mekaniğinin en akılda kalıcı tek bir özelliğini seçmem gerekseydi, belirsizlik ilkesini seçerdim. Olasılıklar ve dalga fonksiyonları elbette yepyeni bir yapı ortaya koyarlar ama klasik fizikten kopuşu temsil eden kavram belirsizlik ilkesidir. Hatırlarsanız, on yedinci ve on sekizinci yüzyıllarda bilim insanları, fiziksel gerçekliğin tam olarak tanımlanmasının ancak evreni oluşturan maddenin her bileşeninin, her parçacığının konum ve hızının belirlenmesiyle mümkün olacağına inanıyorlardı. On dokuzuncu yüzyılda alan kavramının ortaya çıkması ve sonra da elektromanyetik ve kütleçekimi kuvvetlerine uygulanmasıyla birlikte bu görünüm, uzayın her noktasında her alanın değerini -yani her alanın şiddetini- ve gene her alanın değerinin değişim hızını kapsayacak şekilde zenginleşti. Ama 1930'larda belirsizlik ilkesi uzaydaki bir noktada bir parçacığın hem konumunu, hem de hızını ya da bir alanın hem değerini hem de değişme hızını aynı anda hiçbir zaman bilemeyeceğimizi göstererek bu yapıyı dağıttı. Kuantum belirsizliği bunu yasaklar.

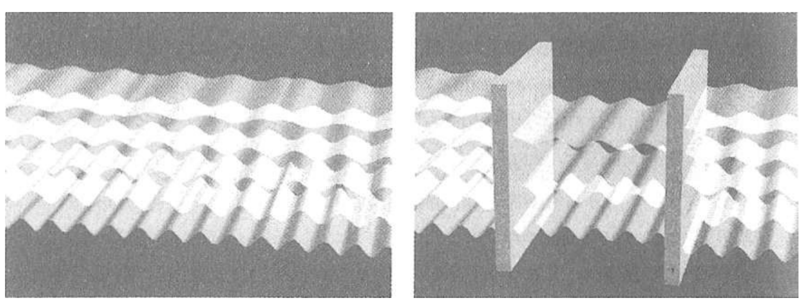
Son bölümde tartıştığımız gibi, bu kuantum belirsizliği mikro dünyanın çalkantılı ve titrenimli bir gerçeklik olmasına neden olur. Daha önceleri inflaton alanı için belirsizlikten kaynaklanan kuantum tedirginlikleri üzerine odaklanmıştık olsak da, kuantum belirsizliği bütün alanlara uygulanır. Elektromanyetik alan, güçlü ve zayıf elektromanyetik kuvvet alanları ve kütleçekimi alanlarının hepsi mikroskopik ölçeklerde çılgın kuantum titrenimlerine uğrarlar. Gerçekte, normal olarak boş olduğunu düşündüğünüz uzayda, hiçbir madde veya alan içermiyor gibi görünen uzayda bile bu alan titrenimleri vardır. Bu, kritik derecede önemli bir fikirdir, ama eğer daha önce bu fikirle hiç karşılaşmadıysanız, şaşırmanız doğaldır. Eğer bir uzay bölgesi hiçbir şey içermiyorsa -boşluksa- o zaman bu, titrenecek herhangi bir şey olmayacağı anlamına gelmez mi? Hiçlik kavramının tanımlanması zor bir kavram olduğunu zaten öğrenmiştik. Modern kuramın boş uzayı doldurduğunu öne sürdüğü Higgs okyanusunu düşünün. Şimdi söz ettiğim kuantum titrenimleri "hiçbir şey" kavramını daha da gizemli bir hale getirmeye yarıyor. Şunu demek istiyorum.

Kuantum öncesi (ve Higgs öncesi) fizikte uzayın bir bölgesinin, ancak hiçbir parçacık içermiyorsa ve her alanın değeri birörnek olarak sıfırsa, tam olarak boş olduğunu kabul etmiştik. Şimdi klasik boşluk kavramı hakkında kuantum belirsizlik ilkesi ışığında düşünelim. Eğer bir alan yok olan bir değere sahipse ve bunu sürdürürse, o zaman bu alanın değerini -sıfır- ve değişim hızını -o da sıfır- biliriz. Ama belirsizlik ilkesine göre bu iki niteliğin birden belirli olması mümkün değildir. Eğer bir alanın bir andaki değeri belirliyse, elimizdeki örnekte sıfır, belirsizlik ilkesi bize bu alanın değişim hızının tümüyle rasgele olduğunu söyler. Rasgele bir değişim hızı da, normal olarak boş olduğunu düşündüğümüz uzayda bile, sonraki anlarda alanın değerinin rasgele olarak yukarı-aşağı salınacağı anlamına gelir. O zaman, içinde bütün alanların hem sıfır değerine sahip olduğu, hem de bunu sürdürdüğü sezgisel boşluk kavramı kuantum mekaniğiyle bağdaşmaz. Bir alanın sıfır değeri etrafında titrenim sergileyebilir ama bir bölgedeki değeri, kısa bir an dışında birörnek olarak sıhr kalamaz. Teknik dille, fizikçiler alanların boşluk titrenimlerine maruz kaldığını söylerler.

Boşluk alan titrenimlerinin raslantısal doğası, en mikroskopik alanlar dışındaki bütün alanlarda ne kadar "yukarı" salınım varsa o kadar da "aşağı" salınım olmasını, böylece de ortalama değerin sıfır olmasını sağlar. Bu, tıpkı çıplak gözle son derece pürüzsüz görünen mermer bir yüzeyin elektron mikroskopuyla bakıldığı zaman girinti ve çıkıntılarla dolu olduğunun

görülmesine benzer. Bununla birlikte, doğrudan göremiyor olsak da, kuantum alan titrenimlerinin gerçekliği yarım yüzyıldan daha uzun bir süre önce, boş uzayda bile, bir dizi basit ama esaslı keşide ortaya konmuştu.

1948'de Hollanda'lı fizikçi Hendrik Casimir elektromanyetik alanın boşluk titrenimlerinin deneysel olarak nasıl saptanabileceğini buldu. Kuantum kuramı boş uzaydaki elektromanyetik alan titrenimlerinin Şekil 12.1a'daki gibi değişik şekiller alacağını söyler. Casimir'in atılımı, boş bir bölgeye Şekil 12.1b deki gibi iki tane sıradan metal plaka yerleştirerek, bu kuantum titrenimlerinin değişik bir türünü elde edebileceğini fark etmiş olmasıydı. Yani, kuantum denklemleri plakalar arasındaki bölgede daha az salınım olacağını gösteriyor (yalnızca her plakanın bulunduğu yerde değeri sıfıra giden elektromanyetik titrenimlere izin var). Casimir bu alan titrenimlerindeki azalmanın sonuçlarını çözümledi ve olağandışı bir şey buldu. Tıpkı bir bölgedeki hava miktarındaki azalmanın bir basınç dengesizliği yaratması gibi (örneğin yüksek yerlerde daha seyrelmiş olan havanın kulak zarlarınıza dışarıdan daha az basınç uyguladığını fark edersiniz), plakalar arasında kuantum alan titrenimlerinin azalması da bir basınç dengesizliği yaratır. Plakalar arasındaki kuantum alan titrenimleri, plakaların dışındakilere oranla biraz daha zayıf kalır ve bu dengesizlik, plakaların birbirine doğru çekilmesine neden olur.



Şekil 12.1 (a) Elektromanyetik alanın boşluk titrenimleri (b) İki plakanın arasındaki ve plakaların dışındaki boşluk titrenimleri

Bunun ne kadar garip olduğunu bir düşünün. Uzayın boş bir bölgesine üzerlerinde elektrik yükü bulunmayan iki tane sıradan metal plakayı birbirlerine bakacak şekilde yerleştiriyorsunuz. Plakaların kütleleri çok minik olduğundan, aralarındaki kütleçekimi kuvveti tümüyle göz ardı edilebilecek kadar küçüktür. Çevrede başka bir şey olmadığı için bu

plakaların doğal olarak koyduğunuz yerde kalmalarını beklersiniz. Ama Casimir'in hesaplarının olacağını gösterdiği şey bu değil. Casimir, plakaların hayaletimsi boşluk alan titrenimleri tarafından etkilenerek yavaşça birbirlerine doğru hareket edecekleri sonucuna varmıştı.

Casimir bu kuramsal sonuçları ilk kez duyurduğunda, bu öngörüleri sınayacak hassaslıkta deneysel araçlar henüz yoktu. Ama on yıl içinde bir başka Hollanda'lı fizikçi olan Marcus Spaarnay, bu Casimir kuvvetinin ilk basit testlerine başlayabildi ve o zamandan günümüze kadar gittikçe daha hassas sınamalar gerçekleştirildi. Örneğin 1997'de o zamanlar Washington Üniversitesi’nde çalışan Steve Lamoreaux, Casimir'in hesaplarını yüzde 5'lik bir hata payıyla doğruladı. (Birbirlerinden santimetrenin on binde biri kadar uzağa yerleştirilen oyun kartı büyüklüğündeki plakaların arasındaki kuvvet, yaklaşık olarak tek bir gözyaşı damlasının ağırlığına eşittir. Bu da Casimir kuvvetini ölçmenin ne kadar zor olduğunu gösteriyor.) Şimdi artık sezgisel boş uzay kavramının durağan, sakin ve olaysız bir bölge olduğu yolunda bazı kuşkular var. Kuantum belirsizliği nedeniyle boş uzay kuantum etkinliğiyle kaynıyor.

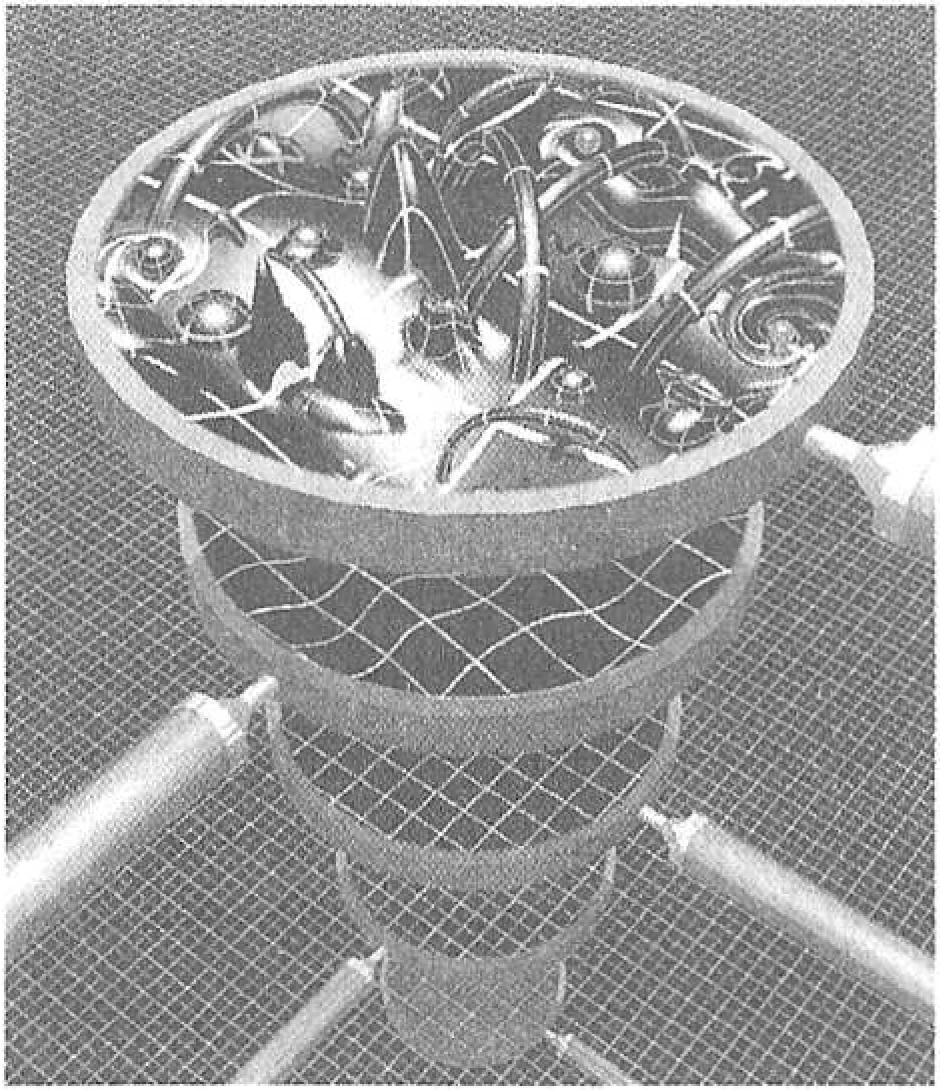
Bilim insanlarının elektromanyetik, güçlü ve zayıf nükleer kuvvetlerin böylesi kuantum etkinliklerini tanımlayacak matematiği tam olarak geliştirmeleri, yirminci yüzyılın büyük bir bölümünü aldı. Ama bütün çabalara değdi: Bu matematiksel yapı kullanılarak yapılan hesaplar deneysel bulgularla şimdiye kadar elde edilememiş büyük bir kesinlikle örtüşüyor (örneğin elektronların manyetik özelliklerindeki boşluk titrenimleri etkisi, deneysel sonuçlarla milyarda bir hata payıyla aynı).

Ama bütün bu başarılara rağmen, on yıllar boyunca fizikçiler kuantum titrenimlerinin fizik yasalarında bir hoşnutsuzluk ortaya çıkardığının da farkındaydılar.

Titrenimler ve Yarattıkları Hoşnutsuzluk

Şimdiye kadar, yalnızca uzayın içinde var olan alanların kuantum titrenimlerini inceledik. Ya uzayın kendisinin kuantum titrenimleri? Bu kavram kulağa gizemli gibi geliyorsa da, aslında kuantum alan titrenimlerinin bir başka örneğidir, ama bu örneğin sorunlu olduğu biliniyor. Genel görelilik kuramında Einstein kütleçekimi kuvvetinin uzayın

dokusundaki bazı eğrilmeler ve bükülmelerle tanımlanabileceğini kanıtlamış; kütleçekimi alanlarının kendilerini uzayın (ve daha genel olarak uzay-zamanın) şekli ya da geometrisi olarak ortaya koyduklarını göstermişti. Şimdi, tıpkı herhangi bir başka alan gibi kütleçekimi alanı da kuantum titrenimlerinin etkisi altındadır: Belirsizlik ilkesi minik uzaklık ölçeklerinde kütleçekimi alanının yukarı-aşağı salınmasına neden olur. Kütleçekimi alanı uzayın şekliyle aynı anlama geldiği için, böylesi kuantum titrenimleri uzayın şeklinin rasgele dalgalandığı anlamına gelir. Bütün diğer kuantum belirsizlik örneklerinde olduğu gibi, gündelik uzaklık ölçeklerinde de titre- nimler doğrudan algılanamayacak kadar küçüktür ve çevredeki ortam pürüzsüz, sakin ve önceden hesaplanabilirmiş gibi görünür. Ama gözlem ölçeği küçüldükçe belirsizlik giderek büyür ve kuantum titrenimleri daha fırtınalı bir hal alır.



Şekil 12.2 Uzayın ardışık büyütmeleri, Planck uzunluğunun altında uzayın kuantum titrenimleri nedeniyle tanınamayacak kadar karmaşık olduğunu ortaya koyar. (Bunlar, her biri 10 milyon ile 100 milyon kez arasında büyütme sağlayan hayali büyüteçlerdir.)

Şekil 12.2'de gösterilen bu durumda uzayın dokusunu gittikçe büyüterek giderek daha küçük ölçeklerde yapısını ortaya koyduk. Şekildeki en alt düzey, bilindik ölçeklerde uzaydaki kuantum salınımlarını gösteriyor ve kolaylıkla görebileceğiniz gibi, ortalıkta görülecek bir şey yok; salınımlar gözlenemeyecek kadar küçük olduğundan uzay sakin ve düz görünüyor. Ama bölgeyi büyüterek yaklaşınca uzayın salınımlarının giderek arttığını görüyoruz. Uzayın dokusunu Planck uzunluğundan (Planck mesafesinden) - bir santimetrenin milyon kere milyar kere milyar kere milyarda biri (10-35)-

daha küçük ölçeklerde gösteren şekildeki en yukarıdaki düzeyde uzay fokurdayan, kaynayan titre- nimlerle dolar. Bu şeklin açıkça gösterdiği gibi, olağan sağa/sola, ileri/geri, yukarı/aşağı kavramları mikroskopik ötesi karışıklıkta o kadar birbirlerine girerler ki, tümü de anlamını kaybeder. Uzay-zaman somunundan ardışık dilimler almakla açıklayageldiğimiz, olağan önce/sonra kavramları bile, Planck zamanından, yani yaklaşık bir saniyenin milyon kere trilyon kere trilyon kere trilyonda birinden (10-43) (ki bu, ışığın Planck uzunluğunu kat etmesi için gereken süredir) daha kısa zaman ölçeklerindeki kuantum titrenimleri tarafından anlamsız hale getirilir. Bulanık bir fotoğraf gibi, Şekil 12.2'deki vahşi titrenimler, aralarında Planck zamanından daha kısa süre olan zaman kesitlerini birbirlerinden hiç kuşkuya yer bırakmayacak bir şekilde ayırabilmeyi olanaksız kılar. Sonuç, Planck uzunluğu ve zamanından daha kısa ölçeklerde kuantum belirsizliği uzayın dokusunu o kadar eğrilmiş ve bükülmüş hale getirir ki, artık olağan uzay ve zaman kavramları uygulanabilir olmaktan çıkar.

Ayrıntıda egzotik olsa da, Şekil 12.2'den genel olarak çıkacak ders, aslında bildiğimiz bir derstir: Bir ölçekle ilişkili kavram ve sonuçlar bütün ölçeklerde uygulanabilir olmayabilirler. Bu, fizikte kilit önemde bir ilke olup, daha yavan, düz bağlamlarda bile sık sık karşımıza çıkar. Bir bardak suyu ele alalım. Suyu gündelik ölçeklerde pürüzsüz, birörnek bir sıvı olarak tanımlamak hem yararlı, hem de amaca uygundur ama eğer suyu mikroskopik altı bir hassasiyetle çözümlersek, bu bir yaklaştırımdır. Minik ölçeklerde pürüzsüz görüntü, yerini birbirinden epeyce uzak molekül ve atomlardan oluşan, tamamıyla farklı bir yapıya bırakır. Benzer bir biçimde, Şekil 12.2'de Einstein'ın pürüzsüz, yumuşak bir şekilde eğrilen geometrik uzay ve zaman kavramı, her ne kadar evreni büyük ölçeklerde tanımlamakta güçlü ve kesin sonuçlar vermekle birlikte, evreni çok kısa uzaklık ve zaman ölçeklerinde çözümlemeye çalıştığımızda dağılır. Fizikçiler, su örneğinde olduğu gibi, uzay ve zamanın portresinin pürüzsüz olarak çizilmesinin de, mikroskobik-ötesi ölçeklerde incelendiğinde yerini çok daha temel olan bir başka yapıya bırakan bir yaklaştı- rım olduğuna inanırlar. Bu yapının ne olduğu, uzay ve zamanın "moleküllerini" ve "atomlarını" neyin oluşturduğu, son zamanlarda cevabı büyük çabalar harcanarak aranan bir soru olup henüz çözülememiştir.

Bu durumda bile, Şekil 12.2'de açıkça ortaya çıkan şey, uzay ve zamanın genel görelilik tarafından ortaya konan pürüzsüz karakterinin, kuantum mekaniğinin titrenimli, salınındı yapısına dönüştüğüdür. Einstein'ın genel

göreliliğinin, uzay ve zamanın yumuşakça bükülen bir geometrik şekil ortaya koyduğu yolundaki temel ilkesi, kuantum mekaniğinin en minik ölçeklerde fırtınalı ve çalkantılı bir ortam öngören temel ilkesiyle, belirsizlik ilkesiyle çatışır. Genel görelilik ve kuantum mekaniğinin temel ilkeleri arasındaki şiddetli çatışma, bu iki kuramı birleştirmeyi, fizikçilerin son seksen yılda karşılaştıkları en çetin görevlerden biri haline getirir.

Fark Eder Mi?

Pratikte genel görelilik ve kuantum mekaniği arasındaki bağdaşmazlık, kendini çok özel bir şekilde gösterir. Eğer genel görelilik ve kuantum mekaniğinin birleşik denklemlerini kullanırsanız, hemen hemen her zaman aynı sonucu bulursunuz: Sonsuzluk. Zaten sorun da budur. Bu, saçmalıktır. Deneyciler hiçbir zaman hiçbir şeyin sonsuz bir miktarını ölçmezler, ibreler sonsuzu göstermez. Metreler hiçbir zaman sonsuza uzanmaz. Hesap makineleri sonsuzluğu almaz. Sonsuz cevabı hemen hemen her zaman anlamsızdır. Bize tüm anlattığı, genel görelilik ve kuantum mekaniği denklemlerinin birleştirildiklerinde zıvanadan çıktıklarıdır.

Dikkat ederseniz bu, Bölüm 4'te incelediğimiz kuantumun yerel olmayışı konusunda ortaya çıkan özel görelilik ve kuantum mekaniği arasındaki gerilime hiç benzemez. Orada, özel göreliliğin ilkeleriyle (özel olarak, sabit hızla hareket eden bütün gözlemciler arasındaki simetri) bağlantılı parçacıkların davranışlarını bağdaştırmanın, kuantum ölçüm probleminin o zamana kadar ulaşılandan daha geniş bir kavrayışına sahip olmayı gerektirdiğini görmüştük. Ama tam olarak çözüme kavuşturulmamış olan bu konu, matematiksel tutarsızlıklara veya anlamsız sonuçlar ortaya koyan denklemlere yol açmaz. Tersine, özel görelilik ve kuantum mekaniğinin birleşik denklemleri bilim tarihindeki en büyük kesinlikle doğrulanan hesapları yapmakta kullanılmıştı. Özel görelilik ve kuantum mekaniği arasındaki sessiz gerilim, kuramsal olarak daha çok geliştirilme ihtiyacındaki bir alanı işaret eder, ama bu gerilimin birleşik hesaplama gücü üzerinde neredeyse hiç etkisi yoktur. Oysa genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki, bütün hesaplama gücünün kaybolduğu patlayıcı birliktelikte durum hiç de böyle değildir.

Bununla birlikte, yine de genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki bağdaşmazlığın gerçekten önemli olup olmadığını sorabilirsiniz. Birleşik

denklemlerden saçmalık çıkıyor olabilir ama bu denklemleri bir arada kullanmaya gerçekten ne zaman ihtiyaç duyuyoruz? Yıllar süren astronomi gözlemleri genel göreliliğin yıldızların, galaksilerin ve hatta evrenin makro dünyasını etkileyici bir kesinlikle betimlediğini göstermiştir; on yıllarca süren deneylerde kuantum mekaniğinin aynı şeyi moleküllerin, atomların ve atom altı parçacıkların mikro dünyası için yaptığı bulunmuştur. Her iki kuram da kendi alanlarında harika bir şekilde işlediğine göre, neden bunları birleştirmeye çalışıyoruz? Onları neden birbirlerinden ayrı tutmuyoruz? Neden büyük boyutlu ve büyük kütleli cisimler için genel göreliliği, küçük ve hafif şeyler için kuantum mekaniğini kullanarak insanlığın birbirlerinden böylesine farklı olayları başarılı bir şekilde kavramış olmasının keyfini çıkarmıyoruz?

Aslına bakarsanız, yirminci yüzyılın başlarından beri pek çok fizikçinin yaptığı da bu ve bunun da verimli bir yaklaşım olduğunu kimse inkâr etmiyor. Bilimin bu birbirinden ayrı yapılar altında çalışarak elde etmiş olduğu ilerleme gerçekten etkileyicidir. Ama yine de genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki uzlaşmazlığın giderilmeye çalışılmasının bir dizi nedeni vardır. Bunlardan ikisi şöyledir.

Birincisi, temel düzeyde, evrenin en derinden kavranmasının birbirleriyle bağdaşmayan iki güçlü kuramsal yapının rahatsız, tedirgin bir birliğini gerektirdiğine inanmak güçtür. Evrende genel görelilikle uygun biçimde açıklanabilecek olaylarla kuantum mekaniğiyle uygun bir biçimde açıklanabilecek olaylar arasında kuma çizilmiş bir çizgiye benzer bir ayrım olması pek mantıklı görünmüyor. Evreni iki ayrı alana bölmek hem yapay hem de biçimsiz duruyor. Birçoklarına göre bu, genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki çatlağı kapatacak ve her şeye uygulanabilecek olan, daha derin ve birleşik bir kuramın olması gerektiğinin kanıtıdır. Tek bir evrenimiz olduğu için çoğu kimse tek bir kuramımız olması gerektiğine yürekten inanıyor.

İkincisi, her ne kadar cisimler ya büyük ve ağır ya da küçük ve hafif olduğu için genel görelilikle veya kuantum mekaniğiyle betimlenebilirse de, bu her şey için doğru değildir. Buna en iyi örnek kara deliklerdir. Genel göreliliğe göre, kara deliği oluşturan maddenin tamamı, kara deliğin merkezindeki minik bir noktaya sıkışmıştır. Bu da kara deliğin merkezinin hem devasa kütleli, hem de minik boyutlu olması demektir; bu yüzden de her iki kuramı birden ilgilendirir: Büyük kütle önemli bir kütleçekimi alanı yarattığı için genel göreliliği kullanmak zorundayız, ama bütün kütle minik

bir noktaya sıkıştığı için aynı zamanda kuantum mekaniğini de kullanmamız gerekir. Ama birleştirildiğinde, denklemler çöker, bu nedenle hiç kimse bir kara deliğin merkezinde ne olup bittiğini tam olarak belirleyememiştir.

Bu iyi bir örnektir ama eğer gerçek bir kuşkucuysanız, bunun insanı gece uykusuz bırakması gereken bir şey olup olmadığını düşünebilirsiniz. İçine atlamadığımız sürece bir kara deliğin içini göremeyeceğimiz için, üstelik görebilsek bile gözlemlerimizi dışarıdaki dünyaya bildiremeyeceğimiz için, kara deliklerin içi konusundaki eksik kavrayışımız size fazla endişe verici bir durum gibi görünmeyebilir. Ama fizikçiler için, bilinen fizik yasalarının çöktüğü bir ortamın varlığı -bu ortam ne kadar içine kapalı görünürse görünsün- kırmızı uyarı ışıklarının yanmasına neden olur. Eğer bilinen fizik yasaları herhangi bir koşulda çöküyorlarsa, bu, olası en derin kavrayışa henüz ulaşamamış olduğumuzun açık bir işaretidir. Sonuçta evren işliyor; bilebildiğimiz kadarıyla evren çökmüyor. Evrenin doğru kuramının da, en azından aynı standardı karşılaması gerekir.

Bu son derece mantıklı görünüyor. Ama genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki çatışmanın aciliyeti bir başka örnekle de ortaya konabilir. Yeniden Şekil 10.6 ya bakın. Görebileceğiniz gibi, kozmik evrimin öngörülebilir öyküsünü derleyip toplamakta önemli aşamalar kaydetmiş olmakla birlikte, evrenin başlangıcı sırasındaki bulanık bölge yüzünden resmi henüz tamamlayamadık. ilk dönemleri sarmalayan bu puslu sisin içinde sırların bu en çarpıcısının ipuçları bulunur: Uzay ve zamanın kökeni ve temel doğası. O zaman bizi bu sis perdesini aralamaktan alıkoyan nedir? Suç, tam karşıdaki genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki çatışmaya atılır. Büyük ve küçüğün yasaları arasındaki düşmanlık, bulanık bölgenin öyle kalmasının ve evrenin başlangıcında ne olup bittiğini hâlâ bilemiyor olmamızın nedeni olarak gösterilir.

Bunun neden olduğunu anlamak için, Bölüm 10'da olduğu gibi, genişleyen evren filmini geriye, Büyük Patlamaya doğru oynattığımızı varsayalım. Bu filmde, birbirlerinden uzaklaşan her şey birbirine doğru hareket eder, bu yüzden film tersine oynatılmaya devam ettikçe evren küçülür, ısınır ve yoğunlaşır. Sıfır zamanının kendisine yaklaştıkça bütün gözlenebilir evren önce Güneş boyutlarına, daha sonra Dünya boyutlarına kadar sıkışır; daha sonra da bir bowling topu, bir bezelye, bir kum tanesi boyutlarına iner, filmin ilk karelerine doğru geriye gittikçe evren git gide daha çok büzülür. Geriye oynatılan bu filmde bilinen evrenin Planck

uzunluğu -santimetrenin milyon kere milyar kere milyar kere milyarda biri- boyutlarına yaklaştığı bir an gelir ki, bu anda genel görelilik ve kuantum mekaniği kendilerini kavgalı bulurlar. Bu anda bilinen evrenin tohumlanmasından sorumlu olan bütün madde ve enerji, tek bir atomun yüzde birinin milyarda birinin milyarda birinden daha küçük bir noktaya sıkışmıştır.

Bu yüzden, tıpkı kara deliğin merkezinde olduğu gibi, evren de ilk anlarında bu bölünmenin her iki yanında birden bulunur: ilkel evrenin devasa yoğunluğu genel göreliliğin kullanılmasını gerektirir, ilkel evrenin minik boyutları ise kuantum mekaniğinin kullanılmasını gerekli kılar. Ama bir kere daha, birleştiklerinde bu yasalar çöker. Projektör sıkışır, kozmik film yanar ve bu yüzden evrenin ilk anlarına ulaşamayız. Genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki bu çatışma yüzünden başlangıçta ne olduğu konusunda bilgisiz kalır ve Şekil 10.6'daki bulanık bölgeyi çizeriz.

Evrenin kökenini -bütün bilimlerdeki en derin sorulardan biri- eninde sonunda anlamayı umut edebilmemiz için genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki çatışmanın ortadan kalkması gerekir. Büyüklerin yasasıyla küçüklerin yasası arasındaki farkları uzlaştırmamız ve ikisini uyumlu tek bir kuramda birleştirmemiz gerekir.

Çözümü Vermeyecek Yol

Newton ve Einstein'ın çalışmalarının örneklediği gibi, bilimsel atılımlar bazen bir dâhinin kafasında sat ve basit bir biçimde doğar. Ama bu enderdir. Genelde ise büyük atılımlar birçok bilim insanının toplu çabasını temsil eder. Bunlardan her biri, hiçbir bireyin tek başına elde edemediği şeyleri başkalarının fikirleri üzerinde şekillendirir. Bir araştırmacı, bir başka arkadaşını düşündüren bir fikre katkıda bulunur, bu düşünce bir gözleme yol açar, bu gözlem önemli bir gelişme sağlayan bir ilişkiyi açığa çıkarır, bu gelişme ise yeni bir keşif çevrimi başlatır. Geniş bilgi, teknik altyapı, düşünce esnekliği, beklenmedik bağlantılara açık olmak, dünya çapındaki düşünce hareketlerinden haberdar olmak, sıkı çalışma ve şans, bilimsel keşfin önemli parçalarıdır. Son zamanlarda belki de bunu süpersicim kuramın dan daha iyi örnekleyen bir başka atılım daha yoktur.

Süpersicim kuramı birçok bilim insanının genel görelilikle kuantum mekaniğini başarıyla birleştirdiğine inandığı bir yaklaşımdır. Göreceğimiz gibi, daha fazlasını beklemek için nedenlerimiz de vardır. Her ne kadar hâlâ gelişmekte olan bir çalışma ise de, süpersicim kuramı rahatça bütün kuvvetlerin ve maddenin tam anlamıyla birleşik bir kuramı olabilir. Einstein'ın rüyasına ve hatta ötelerine uzanan bir kuram olabilir. Benim ve başkalarının da inandığı gibi, bizi günün birinde evrenin en derin yasalarına götürecek olan yolun başlangıcını gösteriyor olabilir. Doğrusu, süpersicim kuramı bu asil ve uzun-erimli hedeflere ulaşmak amacıyla tasarlanmamıştır. Süpersicim kuramının geçmişi rastlantısal keşiflerle, yanlış başlangıçlarla, kaçmış fırsatlarla ve neredeyse mahvolmuş mesleki yaşamlarla doludur. Aynı zamanda, kesin anlamda yanlış problem için doğru çözümün keşfinin öyküsüdür.

1968'de CERN'de çalışan genç bir doktora sonrası araştırmacısı olan Gabriele Veneziano, dünyanın her tarafındaki atom çarpıştırıcılarında gerçekleştirilen yüksek-enerjili parçacık çarpıştırma deneylerinin sonuçlarını inceleyerek güçlü nükleer kuvveti anlamaya çalışan birçok fizikçiden biriydi. Aylarca süren verilerdeki desenleri ve düzenlilikleri çözümleme çalışmalarından sonra Veneziano matematiğin çok özel bir dalı ile şaşırtıcı ve beklenmedik bir bağlantı olduğunu fark etti. Veneziano, İsviçreli ünlü matematikçi Leonhard Euler tarafından iki yüz yıl önce keşfedilen bir formülün (Euler beta fonksiyonu) güçlü nükleer kuvvet verileriyle uyuşur gibi göründüğünü buldu. Bu, kulağa özel olarak olağandışı gibi gelmiyorsa da -kuramsal fizik sürekli olarak giz dolu formüllerle uğraşır- bu, arabanın atın kilometrelerce önüne bağlandığı durumların çarpıcı bir örneğiydi. Genellikle fizikçiler çalıştıkları konuda önce bir önsezi, zihinsel bir tablo ve konuyla ilgili fizik ilkeleri konusunda geniş bir kavrayış geliştirirler, ancak bu aşamadan sonra önsezilerini matematiksel kesinliğe dönüştürecek formülleri ararlar. Bunun tersine Veneziano doğrudan denklemin üzerine atladı; zekâsı verilerdeki olağandışı desenleri anlamasını ve bu desenlerle yüzyıllarca önce sadece matematiksel bir ilgiyle ortaya konmuş olan bir formül arasında beklenmedik bir bağlantı olduğunu fark etmesini sağlamıştı.

Ama formül Veneziano'nun elinde olmasına rağmen, verilerin neden bu formüle uyduğu yolunda hiçbir açıklaması yoktu. Euler'in beta fonksiyonunun birbirleriyle güçlü nükleer kuvvet aracılığıyla etkileşen parçacıklarla neden ilişkili olması gerektiği yolunda fiziksel bir kavrayıştan

yoksundu. İki yıl içinde durum tümüyle değişti. 1970'te Stanford'dan Leonard Susskind'in, Niels Bohr Enstitüsü'nden Holger Nielsen'in ve Chicago Üniversitesi'nden Yoichiro Nambu'nun makaleleri Veneziano'nun keşfinin temellerini ortaya koydu. Bu fizikçiler, ancak iki parçacık arasındaki güçlü nükleer kuvvetin, bu parçacıkları birbirine bağlayan minik, son derece ince ve hemen hemen lastik bant gibi bir iplikçikten kaynaklanıyor olması durumunda Veneziano ve diğerlerinin üzerinde çalıştıkları kuantum süreçlerinin matematiksel olarak Euler'in formülüyle tanımlanabileceğini gösterdiler. Bu küçük, elastik iplikçiklere sicim adı verildi ve artık at, olması gerektiği gibi arabanın önüne koşularak sicim kuramı resmen doğdu.

Bu araştırmada yer alanlar için Veneziano'nun kavrama yeteneğinin fiziksel kökenlerini anlamak memnuniyet vericiydi, çünkü fizikçilerin güçlü nükleer kuvveti çözme konusunda yol aldıklarını gösteriyordu. Ama bu keşif evrensel bir heyecanla karşılanmadı. Hem de hiç. Aslında Susskind'in makalesi, yayımlanmak üzere gönderildiği dergi tarafından geri çevrilmiş, neden olarak da çalışmanın ilgi uyandırmadığı bildirilmişti. Susskind bu değerlendirmeyi şöyle anlatıyor: "Afallamıştım; neredeyse sandalyemden yuvarlanıyordum, depresyona girdim, eve gittim ve sarhoş oldum." Sonunda onun makalesi ve sicim kavramını ortaya atan diğerlerinin hepsi yayımlandı, ama çok geçmeden kuram iki tahrip edici darbeyle daha karşı karşıya geldi. 1970'lerin başında güçlü nükleer kuvvete ilişkin toplanan daha rafine veriler üzerinde yapılan çok daha ayrıntılı bir araştırma, sicim yaklaşımının yeni sonuçları kesin bir biçimde betimlemekte başarısız olduğunu gösterdi. Üstelik kökleri sağlam bir biçimde geleneksel parçacık ve alan bileşenlerinde bulunan kuantum renk dinamiği adı verilen yeni bir öneri -sicim olmadan- verileri inandırıcı bir şekilde açıklayabilmişti. Bu yüzden 1974'te bir-iki tane devirici yumruk yemiş oldu veya öyle göründü.

John Schwarz sicimin ilk taraftarlarından biriydi. Bir zamanlar bana bu kuramın en baştan beri temel düzeyde derin ve önemli olduğu duygusuna sahip olduğunu söylemişti. Schwarz yıllarca kuramın çeşitli matematiksel yönlerini çözümlemekle uğraştı; diğer şeylerin yanısıra bu, süpersicim kuramının keşfine de yol açtı; göreceğimiz gibi bu, özgün sicim önerisinde önemli bir değişikliktir. Ama kuantum kromodinamiğinin yükselişi ve sicim yapısının güçlü nükleer kuvveti betimlemede başarısız olmasıyla birlikte sicim kuramı üzerinde çalışmayı sürdürme nedenleri zayıflamaya başladı. Bu arada sicim kuramıyla güçlü nükleer kuvvet arasında Schwarz'ı sürekli

olarak rahatsız eden bir uyumsuzluk vardı. Schwarz bunun böyle olmayacağına karar verdi. Sicim kuramının kuantum mekaniğine özgü denklemleri, atom çarpıştırıcılarında gerçekleştirilen yüksek-enerjili çarpışmalarda özel bir parçacığın, olağandışı bir biçimde, çok bol sayıda üretilmesi gerektiğini öngörüyordu. Parçacığın kütlesi foton gibi sıfır olacaktı ama sicim kuramında bu yeni parçacığın spinini iki olarak hesaplanıyordu ki bu da parçacığın fotondan tahminen iki kat daha hızlı döndüğünü gösteriyordu. Deneylerin hiçbirinde böyle bir parçacık bulunmamıştı, o nedenle bu, sicim kuramının yanlış öngörülerinden biriymiş gibi görünüyordu.

Schwarz ve çalışma arkadaşı Joel Scherk bu kayıp parçacık konusunda meraklanmışlardı, ta ki görkemli ve dev bir adım atarak tümüyle farklı bir problemle bir bağlantı kuruncaya kadar. Her ne kadar hiç kimse genel görelilikle kuantum mekaniğini birleştirmekte başarılı olmadıysa da, fizikçiler başarılı bir birleşmeden çıkacak bazı özellikleri belirlemişlerdi. Bölüm 9'da belirtildiği gibi, buldukları özelliklerden biri, nasıl elektromanyetik kuvvet mikroskobik olarak fotonlarla iletiliyorsa, kütleçekimi kuvvetinin de mikroskobik olarak bir başka tür parçacıkla, gravitonla (kütleçekiminin en küçük kuantum mekaniğine özgü paketçiği) iletildiğiydi. Gravitonlar henüz deneysel olarak saptanmış olmasa da, kuramsal çözümlemeler gravitonların şu iki özelliğe sahip oldukları konusunda fikir birliği içindeydi: Kütlesiz ol-malıydılar ve spinleri de iki olmalıydı. Bu, Schwarz ve Scherk'in beyinlerinde ziller çalmasına neden oldu -bunlar, sicim kuramı tarafından öngörülen utangaç parçacığın özellikleriydi- ve onları cesur bir adım atmaya yönlendirdi. Bu adım sicim kuramının başarısızlığını çarpıcı bir başarıya dönüştürecekti.

Schwarz ve Scherk sicim kuramının güçlü nükleer kuvvetin kuantum mekaniksel kuramı olarak düşünülmemesi gerektiğini öne sürdüler. Her ne kadar kuram güçlü nükleer kuvveti anlamak için yapılan bir girişimde keşfedilmiş olsa da, aslında bu kuramın farklı bir problemin çözümü olduğunu düşünüyorlardı. O, aslında kütleçekimi kuvvetinin kuantum mekaniğine özgü ilk kuramı idi. Sicim kuramı tarafından varlığı öngörülen kütlesiz, iki spinli parçacığın graviton olduğunu ve sicim kuramının denklemlerinin zorunlu olarak kütleçekiminin kuantum mekaniğine özgü betimlemesini içinde barındırdığını ileri sürdüler.

Schwarz ve Scherk, önerilerini 1974'te yayımladılar ve fizik dünyasından büyük bir tepki beklediler. Ama çalışmaları göz ardı edildi. Şimdi geriye

bakıldığında bunun nedenini anlamak zor değil. Bazılarına sicim kavramı uygulama arayışında olan bir kuram haline geliyor gibi görünmüştü. Sicim kuramının güçlü nükleer kuvveti açıklama girişiminin başarısız olmasından sonra, sanki kuramın taraftarları yenilgiyi kabul etmiyormuş da, bunun yerine kurama başka bir yerde uygulama bulmaya çalışıyorlarmış gibiydi. Graviton adaylarının ilettiği kuvvetin kütleçekiminin bilinen kuvvetine eşit olması için Schwarz ve Scherk'in kuramlarındaki sicimlerin boyunu kökten bir biçimde değiştirmek zorunda oldukları açığa çıkınca, bu bakış açısına sahip olanların ekmeğine yağ sürülmüş oldu. Kütleçekiminin son derece zayıf bir kuvvet olması* ve sicim uzadıkça ilettiği kuvvetin de artacağının ortaya çıkmış olması nedeniyle, Schwarz ve Scherk sicimlerin kütleçekiminin son derece zayıf olan kuvvetini iletmek için çok küçük olmaları gerektiğini bulmuşlardı. Önceden düşünüldüklerinden yüz milyar kere milyar kere daha küçük, yaklaşık Planck uzunluğu boyutlarında olmalıydılar. Kuşkucuların yüzlerini ekşiterek yazdığı gibi sicimler o kadar küçüktü ki, onları görebilecek herhangi bir araç yoktu, bu da kuramın deneysel olarak doğrulanmayacağı anlamına geliyordu.

Tersine, 1970'ler parçacıklar ve alanlarla tanımlanan sicim- dışı, daha sıradan kuramların birbiri ardı sıra gelen başarılarına tanıklık etti. Kuramcıların ve deneycilerin kafaları ve elleri benzer şekilde araştırılmayı bekleyen sağlam fikirlerle ve sınanmayı bekleyen hesaplarla doluydu. Denenmiş ve doğruluğu görülmüş bir yapı içinde yapılabilecek bunca heyecan verici iş varken doğruluğu kuşkulu sicim kuramıyla uğraşmanın gereği neydi? Aynı düşünce tarzıyla, her ne kadar fizikçilerin zihinlerinin bir yanı genel görelilikle kuantum mekaniğinin bilindik yöntemlerle birleştirilmesinin hâlâ mümkün olmadığı konusu ile meşgul ise de, bu fazla dikkate değer bir sorun değildi. Hemen hemen herkes bunun önemli bir konu olduğunu ve bir gün eninde sonunda bu konuyla uğraşılması gerekeceğini kabul ediyordu ama hâlâ kütleçekimi dışındaki kuvvetlerle yapılacak çok iş olduğu için, kütleçekiminin kuantumlaştırılması iyice geri plana itilmişti. Sonuçta, 1970'lerin ortaları ile sonu arasında sicim kuramı tamamlanmış bir kuram olmaktan uzaktı. Graviton için bir adayı olması bir başarıydı ama pek çok kavramsal ve teknik sorun henüz ele alınmamıştı. Kuramın bu sorunların birinin veya daha fazlasının üstesinden gelebilmesi pek akla yakın görünmüyordu, bu nedenle sicim kuramıyla uğraşmak bazı ciddi riskleri göze almak anlamına geliyordu. Birkaç yıl içinde kuram ölmüş olabilirdi.

Schwarz azimli duruşunu kaybetmedi. Ona göre kütleçekimini kuantum mekaniğinin diliyle betimleyen ilk mantıklı yaklaşım olan sicim kuramının keşfi önemli bir atılımdı. Eğer kimse bunu dinlemek istemiyor idiyse, tamam. Çalışmaya ve kuramı geliştirmeye devam edecekti, böylece insanlar dinlemeye ve dikkatlerini vermeye hazır olduğunda sicim kuramı önemli bir yol kat etmiş olacaktı. Schwarz'ın bu kararlılığının güçlü bir önseziden kaynaklandığı ortaya çıktı.

1970'lerin sonu ve 1980'lerin başında Schwarz, o zamanlar Londra'daki Queen Mary College'de çalışmakta olan Michael Green'le bir ekip oluşturdu ve sicim kuramının karşısındaki bazı teknik engeller üzerinde çalışmaya başladı. Bunlar arasında önde gelenlerden biri kural dışılıklar (anomaliler) problemiydi. Ayrıntılar önemli olmamakla birlikte kural dışılıklar, örneğin enerjinin korunumu gibi çok önemli bazı ilkeleri ihlal ederek bir kuramın yıkılmasına zemin hazırlayabilecek olan kuantum mekaniğine özgü etkilerdir. Uygulanabilir olmak için bir kuramın bütün kural dışılıklardan arınmış olması gerekir. On araştırmalar sicim kuramının bazı kural dışılıklar barındırdığını ortaya koymuştu, bu durum kuramın fazla heyecan yaratmakta başarısız olmasının temel teknik nedenlerinden biriydi. Her ne kadar sicim kuramı bir kuantum kütleçekimi kuramı ortaya koyuyor gibi görünüyorsa da, kural dışılıkların varlığı, yakından bakıldığında kuramın kendi matematiksel tutarsızlıkları nedeniyle sıkıntıda olduğunu gösteriyordu.

Bununla birlikte Schwarz durumun tam açık olmadığının farkındaydı. Tam bir hesaplamanın, sicim kuramını kötü etkileyen kural dışılıklara olan çeşitli katkıların, doğru şekilde bir çıraya getirildiğinde, birbirlerini yok edeceğini gösterme olasılığı -zayıf da olsa- vardı. Green'le birlikte Schwarz bu kural dışılıkları hesaplamak üzere sıkı bir şekilde çalışmaya başladı ve 1984 yazında bu ikili çabalarının karşılığını aldı. Fırtınalı bir gecede Colorado'daki Aspen Fizik Merkezi'nde çalışırken alanın en önemli hesaplarından birini, bütün potansiyel kural dışılıkların neredeyse mucizevî bir şekilde birbirlerini yok ettiğini kanıtlayan hesabı tamamladılar. Sicim kuramının bütün kural dışılıklardan kurtulduğunu ve bu nedenle hiçbir matematiksel tutarsızlığı olmadığını ortaya çıkarmışlardı. Schwarz ve Green, sicim kuramının kuantum mekaniğine özgü bir biçimde uygulanabilir olduğunu inandırıcı bir şekilde ortaya koymuşlardı.

Bu kez fizikçiler dinledi. 1980'lerin ortasıydı ve fizikte ildim gözle görülür şekilde değişmişti. Kütleçekimsel olmayan üç kuvvetin pek çok

temel özelliği kuramsal olarak ortaya konmuş ve deneysel olarak doğrulanmıştı. Her ne kadar bazı önemli ayrıntılar çözümlenmemiş olsa da -bazıları hâlâ çözümlenmemiştir- fizikçiler topluluğu artık diğer önemli problemi ele almaya hazırdı: Genel görelilikle kuantum mekaniğinin birleştirilmesi. Bu sırada fiziğin az bilinen bir köşesinden Green ve Schwarz, bu noktadan sonra nasıl ilerlenmesi gerektiği yolunda kesin, matematiksel olarak tutarlı ve estetik olarak hoşa giden bir öneriyle sahneye çıktılar. Neredeyse bir gece içinde sicim kuramı üzerinde çalışan araştırmacıların sayısı ikiden binlere yükseldi, ilk sicim devrimi yola çıkmıştı.

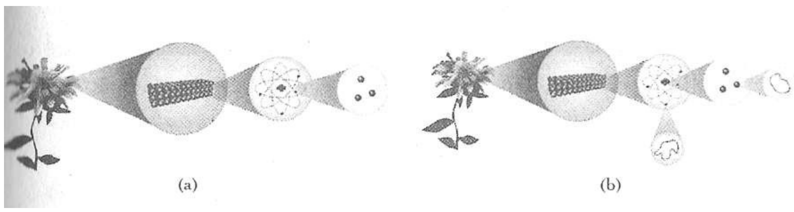
İlk Devrim

1984'ün sonbaharında Oxford Üniversitesi'nde yüksek lisans öğrenimine başladım. Birkaç ay içinde koridorlar fizikte bir devrime ilişkin fısıltılı konuşmalarla dolup taşmaya başlamıştı. Henüz Internet yaygın olarak kullanılmadığı için, bilginin hızla yayılmasının en önemli yolu söylentiydi ve her gün yeni atılımların haberleri geliyordu. Araştırmacılar atmosferin kuantum mekaniğinin ilk günlerindeki havaya benzediği yorumlarını yapıyorlardı ve kuramsal fiziğin artık sonuna yaklaşıldığı ciddi bir biçimde konuşulmaya başlanmıştı.

Sicim kuramı hemen herkes için yeniydi ve ilk günlerde ayrıntılar herkesçe bilinmiyordu. Biz Oxford'da özel olarak şanslıydık: Michael Green yakın bir zamanda sicim kuramı hakkında konuşmak üzere gelmişti, o yüzden çoğumuz kuramın temel fikirleri ve iddiaları konusunda fikir sahibi olmuştuk. Bunlar etkileyici iddialardı. Kısaca, kuram şunu söylüyordu:

Bir madde parçası alın -bir buz küpü, bir kaya parçası, demir bir levha- ve bunu ikiye böldüğünüzü varsayın, sonra parçalardan birini yine ikiye böldüğünüzü, tekrar tekrar ikiye bölme işini sürdürdüğünüzü varsayın. 2500 yıl kadar önce eski Yunanlılar böylesi bir bölme sürecinin en sonunda ortaya çıkacak olan en küçük, kesilemez ve bölünemez bileşeni belirleme problemiyle uğraşmışlardı. Çağımızda bu yolla er ya da geç atomlara ulaşacağımızı öğrendik, ama atomlar eski Yunanlıların sorusunun cevabı değildir çünkü atomlar da daha küçük parçalara bölünebilir. Atomlar parçalanabilir. Atomların, kendilerinin de proton ve nötron adı verilen daha

küçük parçacıklardan oluşan, merkezdeki çekirdeklerin çevresinde dolanan bir elektron bulutlarından oluştuğunu öğrendik. 1960'ların sonunda Stanford Doğrusal Hızlandırıcısı nda yapılan deneyler, nötron ve protonların da üç temel bileşenden oluştuğunu ortaya koydu: Her proton ve her nötron, Bölüm 9'da söz edildiği ve Şekil 12.3a da gösterildiği gibi, kuark adı verilen üç parçacıktan oluşur.



Şekil 12.3 (a) Klasik kuram maddenin temel yapı taşlarının elektron ve kuarklar olduğunu kabul eder. (b) Sicim kuramı ise her parçacığın aslında titrenimdeki bir sicim olduğu tezini ileri sürer.

Önemli deneylerle desteklenen klasik kuram elektronları ve kuarkları uzaysal boyutları olmayan noktalar olarak ele alır; bu nedenle, bu bakış açısına göre, bunlar yolun sonunu -maddenin mikroskobik yapılanmasındaki matruşka bebeklerin sonuncusunu- işaret ederler.

İşte sicim kuramının fark yarattığı yer burasıdır. Sicim kuramı, elektron ve kuarkların sıfır-boyutlu parçacıklar olmadığını öne sürerek klasik bakış açısına meydan okur. Sicim kuramına göre, klasik nokta-parçacık modeli sadece bir yaklaştırımdır. Her parçacık, aslında Şekil 12.3b de görüldüğü gibi, sicim adı verilen, minik ve titrenim gösteren bir enerji iplikçiğidir. Bu titreşen enerji iplikçiklerinin kalınlıkları olmadığı, yalnızca uzunlukları olduğu için tek-boyutlu varlıklar olarak kabul edilirler. Ama sicimler çok küçük, tek bir atom çekirdeğinden yüz milyon kere milyon kat (10-33 cm) küçük olduğundan, en gelişmiş atom çarpıştırıcılarında incelendikleri zaman bile nokta olarak görünürler.

Sicim kuramı konusundaki kavrayışımız tam olmaktan uzak olduğu için, öykünün burada bitip bitmediğini -eğer kuram doğruysa, sicimlerin gerçekten son matruşka bebekleri mi temsil etliğini yoksa onların da daha küçük yapıtaşlarından mı oluştuğunu- hiç kimse tam olarak bilmiyor. Bu konuya yeniden döneceğiz ama şimdilik konunun tarihsel gelişimini

izleyelim ve sicimlerin gerçekten son nokta olduğunu; sicimlerin evrendeki en temel yapıtaşları olduğunu varsayalım.

Sicim Kuramı ve Birleştirme

Sicim kuramı kısaca budur, ama bu yeni yaklaşımın gücünü aktarabilmek için, klasik parçacık fiziğini biraz daha fazla anlatmam gerekiyor. Geçtiğimiz yüz yıl boyunca, fizikçiler evrenin temel yapıtaşlarını ararken maddeyi sıkıştırdılar, tartakladılar ve toz haline getirdiler. Aslında, herkesin karşılaştığı her şeyin temel yapıtaşlarının biraz önce sözü edilen elektronlar ve kuarklar -daha doğrusu, Bölüm 9'da olduğu gibi, elektronlarla birlikte kütle ve elektrik yükü olarak birbirlerinden farklı olan yukarı- kuarklar ve aşağı-kuarklar adı verilen iki çeşit kuark- olduğunu buldular. Ama deneyler evrenin, sıradan maddede görünmeyen, daha egzotik, başka parçacıkları da barındırdığını ortaya koydu. Yukarı-kuark ve aşağı-kuarklara ek olarak deneyciler dört kuark türü daha (cazibe-kuarkı, acayip-kuark, alt kuark ve üst kuark) ve elektrona benzeyen ama ondan daha ağır olan iki parçacık türü daha (müonlar ve taular) buldular. Bu parçacıklar büyük olasılıkla Büyük Patlama’nın hemen sonrasında çok bol miktarda bulunuyorlardı ama günümüzde yalnızca daha bilindik parçacık türleri arasındaki yüksek enerjili çarpışmalar sırasında ortaya çıkıyorlar. Son olarak, deneyciler nötrino adı verilen ve trilyonlarca kilometrelik kurşunun içinden bizim havanın içinden geçtiğimiz kolaylıkla geçen, hayaletimsi üç tür parçacık daha (elektron-nötrino su, müon-nötrinosu ve tau-nötrinosu) ortaya çıkardılar. Bu parçacıklar -elektron ve ondan daha ağır olan iki kuzeni, altı tür kuark ve üç tür nötrino- eski Yunanlıların maddenin yapısı konusundaki sorusuna günümüz parçacık fizikçilerinin cevabıdır."

Bu parçacık türleri Tablo 12.1de görüldüğü gibi, üç parçacık "ailesi" veya "kuşağı" şeklinde düzenlenebilir. Her ailede kuarklardan ikisi ve nötrinolardan biri ile birlikte bir tane de elektron benzeri parçacık yer alır; her ailedeki birbirlerine karşılık gelen parçacıklar arasındaki tek fark, her ailede kütlelerin giderek artmasıdır. Ailelere bölme işi doğal olarak bir temel desen gerektirir ama bu parçacık yağmuru kolaylıkla başınızı döndürebilir (veya daha kötüsü, gözlerinizi kamaştırabilir). Ama biraz dayanın, sicim kuramının en güzel özelliklerinden biri, görünürdeki bu karmaşıklığı düzene sokmak için bir yöntem sağlamasıdır.

Sicim kuramına göre, yalnızca bir temel yapıtaşı vardır -sicim- ve farklı parçacık türlerinin çokluğu, sicimin gösterebileceği farklı titrenim desenlerini simgeler. Bu tıpkı bir keman telinde olup bitenlere benzer. Bir keman teli çok farklı şekillerde titrenebilir ve biz her deseni farklı bir müzik notası olarak algılarız. Böylece bir keman teli bir dizi farklı ses üretebilir. Sicim kuramındaki sicimler de buna benzer şekilde davranırlar: Onlar da farklı desenlerde titrenebilirler. Ama farklı müzik notaları yerine, sicim kuramındaki farklı titrenim desenleri, farklı parçacık türlerine karşılık gelir. Buradaki kilit anlayış, sicimin ayrıntılı titrenim desenlerinden her birinin, bir parçacık türünü diğerinden ayıran bir dizi özellik -özel bir kütle, özel bir elektrik yükü, özel bir spin vb.- üretmesidir. Özel bir şekilde titrenen bir sicim, elektronun özelliklerine sahip olabilir, farklı bir şekilde titrenen bir sicimse bir yukarı-kuarkın, bir aşağı-kuarkın veya Tablo 12.1'de ye alan herhangi bir parçacığın özelliklerini sergileyebilir. Yani elektronu "elektron sicimi" veya yukarı-kuarkı bir "yukarı-kuark sicimi " veya aşağı-kuarkı bir "aşağı-kuark sicimi" oluşturmaz. Tek bir sicim türü, çok farklı titrenim desenleri sergileyerek çok farklı parçacık türleri oluşturabilir.

Aile 1		Aile 2		Aile 3	
Parçacık	Kütle	Parçacık	Kütle	Parçacık	Kütle
Elektron	.00054	Müon	,11	Tau	1,9
Elektroın-Nötrinosu	$<10^{-9}$	Müon-Nötrinosu	$<10^{-4}$	Tau-Nötrinosu	$<10^{-3}$
Yukarı-kuark	,0047	Cazibe-kuarkı	1,6	Üst-kuark	189
Aşağı-kuark	,0074	Acayip-kuark	,16	Alt-kuark	5,2

Tablo 12.1 Üç temel parçacık ailesi ve bunların kütleleri (proton kütlesinin katı olarak). Nötrino kütlelerinin kütlesinin sıfırdan farklı olduğu bilinmekle birlikte, tam değerleri deneysel olarak henüz belirlenememiştir.

Görebileceğiniz gibi bu, potansiyel birleştirmeye doğru atılmış dev bir adımı temsil eder. Eğer sicim kuramı doğru ise, Tablo 12.1 'deki baş döndürücü, göz kamaştırıcı parçacık listesi, kendini tek bir temel

yapıtaşının farklı titrenimsel repertuarı olarak gösterir. Benzetme olarak, tek bir tel türüyle çalınabilecek olan farklı notalar, saptanmış olan bütün farklı parçacık türlerine karşılık gelecektir. Mikroskobik-ötesi düzeyde evren, titre- nimleriyle maddeyi varlık düzeyine taşıyan bir yaylı çalgılar senfonisine benzer.

Bu, Tablo 12.1 'deki parçacıkları açıklayan hoş ve zarif bir yapıdır ama sicim kuramının birleştirme önerileri daha da ötelere gider. Bölüm 9'da ve yukarıdaki tartışmamızda doğadaki kuvvetlerin kuantum düzeyindeki diğer parçacıklarla yani haberci parçacıklarla nasıl iletildiğini incelemiştik. Bu iletişimi Tablo 12.2'de özetledik. Sicim kuramı haberci parçacıkları da madde parçacıklarını açıkladığı şekilde açıklar. Yani, her haberci parçacık da özel bir titrenim deseni sergileyen bir sicimdir. Bir foton, özel bir desen sergileyerek titrenen bir sicimdir, bir W parçacığı farklı bir desende titrenen bir sicimdir, bir gluonsa bir başka desende titrenen bir sicimdir. En önemlisi de, Schwarz ve Scherk'in 1974'te gösterdiği şeyin, gravitonun bütün özelliklerini gösteren bir titrenim deseni olduğu, bu nedenle de kütleçekim kuvvetinin, sicim kuramının kuantum mekaniksel yapısı içinde yer aldığıdır. Böylece titrenen sicimlerden yalnızca madde parçacıkları ortaya çıkmakla kalmaz, haberci parçacıklar da -hatta kütleçekiminin haberci parçacığı da- ortaya çıkar.

Kuvvet	Kuvvet parçacığı	Kütle
Güçlü	Gluon	0
Elektromanyetik	Foton	0
Zayıf	W, Z	86, 97
Kütleçekimi	Graviton	0

Tablo 12.2 Doğadaki dört kuvvet, ilgili kuvvet parçacıkları ve protonun kütlesinin katları olarak kütleleri. (Aslında birinin elektrik yükü +1, diğerininki -1 olan ve aynı kütleye sahip olan iki W parçacığı vardır; basit olsun diye bu ayrıntıyı göz ardı ettik ve her birine W parçacığı adını verdik).

Ve böylece, kütleçekimi ve kuantum mekaniğini birleştirmeye yönelik ilk başarılı yaklaşımı sağlamasının ötesinde sicim kuramı, bütün maddenin ve bütün kuvvetlerin birleşik tanımını yapma kapasitesini de ortaya koydu.

1980'lerin ortasında binlerce fizikçiyi neredeyse şaşkınlıktan sandalyelerinden düşüren, bu iddiadır; ayağa kalkıp üst-başlarındaki tozu silkelediklerinde birçoğunun görüşü değişmişti.

Sicim Kuramı Neden İşler?

Sicim kuramının geliştirilmesinden önce, bilimsel ilerlemenin yolu kütleçekimi ile kuantum mekaniğini birleştirmeyi amaçlayan başarısız girişimlerle doluydu. Acaba sicim kuramının bu kadar ilerlemesinin nedeni nedir? Schwarz ve Scherk'in nasıl kendileri de şaşırarak özel bir sicim titrenim deseninin graviton parçacığını temsil edecek, doğru özelliklere sahip olduğunu fark ettiklerini, buradan sicim kuramının onlara iki kuramı birleştirmek için hazır bir yapı sağladığı sonucuna ulaştıklarını anlatmıştık. Tarihsel olarak, gerçekten sicim kuramının gücünün ve vaatlerinin somutlaşması böyle olmuştur ama bütün diğer girişimler başarısızlığa uğramışken sicim yaklaşımının neden başarılı olduğuna ilişkin açıklamamızda bir şeyler eksik kalır. Şekil 12.2 genel görelilikle kuantum mekaniği arasındaki çatışmayı özetliyor -ultra kısa uzaklık (ve zaman) ölçeklerinde kuantum belirsizliğinin çılgınlığı o kadar şiddetlenir ki, genel göreliliğin altında yatan, uzay-zamanın pürüzsüz geometrik modeli tahrip olur- o zaman soru şudur: Sicim kuramı bu problemi nasıl çözüyor? Sicim kuramı uzay-zamanın mikroskobik ötesi uzaklıklardaki çılgın salınımlarını nasıl yatıştırıyor?

Sicim kuramının esas yeni özelliği, temel bileşeninin nokta parçacık -boyutsuz bir nokta- olmayıp, uzayda bir boyutu olan bir nesne olmasıdır. Bu fark, kütleçekimi ile kuantum mekaniğinin birleştirilmesinde kilit rol oynar.

Şekil 12.2'de gösterilen çılgın salınımlar belirsizlik ilkesinin kütleçekimi alanına uygulanması nedeniyle ortaya çıkar; git gide daha küçülen ölçeklerde belirsizlik ilkesi kütleçekimi alanında giderek büyüyen salınımlar ortaya çıkacağını söyler. Nasıl moleküler düzeyde suyu H2O molekülleriyle gösteriyorsak, bu son derece küçük uzaklık ölçeklerinde de kütleçekimi alanını temel bileşenleriyle, gravitonlarla ifade etmemiz gerekir. Bu ifade biçiminde kütleçekimi alanının çılgın salınımları, bir hortum fırtınasında oraya-buraya savrulan tozlar gibi, büyük miktarlarda gravitonun oraya-buraya salınımları olarak düşünülebilir. Şimdi, eğer gravitonlar (genel görelilikle kuantum mekaniğini birleştirmekte başarısız

olan eski girişimlerde düşünüldüğü gibi) nokta parçacıklar iseler, o zaman Şekil 12.2 bu parçacıkların toplu davranışını yansıtır: Uzaklıklar küçüldükçe çalkantı artar. Ama sicim kuramı bu sonucu değiştiriyor.

Sicim kuramında her graviton nokta değil, yaklaşık Planck uzunluğu boyutunda, (10-33 cm) titrenen bir sicimdir. Gravitonlar kütleçekimi alanının en temel, en küçük bileşenleri olduklarından, kütleçekimi alanlarının Planck uzunluğunun altındaki ölçeklerdeki davranışları üzerinde konuşmak anlamsızdır. Nasıl televizyonunuzun ekranının çözünürlüğü tek tek piksellerin boyutlarıyla sınırlıysa, sicim kuramında kütleçekimi alanının çözünürlüğü de gravitonların boyutlarıyla sınırlıdır. Bu yüzden, sicim kuramında gravitonların (ve her şeyin) sıfırdan farklı boyutları kütleçekimi alanının çözünürlüğüne kabaca Planck ölçeğinde bir sınır getirir.

Bu, çok önemli bir kavrayıştır. Şekil 12.2'de gösterilen, kontrol edilemeyen kuantum titrenimleri, ancak çok kısa -Planck uzunluğundan daha kısa- uzunluk ölçeklerini göz önüne aldığımız zaman ortaya çıkar. Sıfır-boyutlu, nokta parçacıklara dayanan bir kuramda belirsizlik ilkesinin böyle bir uygulamasının varlığı kesindir ve Şekil 12.2'de görüldüğü gibi bu, bizi Einstein'ın genel göreliliğinin erişiminin ötesindeki vahşi bölgelere götürür. Ama sicimleri temel alan bir kuram, yapısal bir hata-bağışıklığına sahiptir. Sicim kuramında sicimler en küçük bileşenlerdir, bu yüzden mikroskobik ötesine olan yolculuğumuz, Planck uzunluğuna -ki bu sicimlerin uzunluğudur- ulaştığımız zaman son bulur. Şekil 12.2'de Planck ölçeği en yüksek ikinci düzeyle temsil edilmektedir; görebileceğiniz gibi, kütleçekimi alanı hâlâ kuantum titrenimlerine maruz kalacağından, böyle ölçeklerde uzayın dokusunda hâlâ salınımlar vardır. Ama bu titrenimler genel görelilikle onarılamaz çatışmalar yol açmayacak ölçüde ılımlıdır. Genel göreliliğin matematiği, bu kuantum salınımlarını da kapsayacak şekilde değiştirilmelidir. Bunun, matematik hâlâ anlamlı kalacak şekilde yapılması olasıdır.

Böylece, sicim kuramı ne kadar küçüğe doğru gideceğimizi sınırlayarak, kütleçekimi alanının titrenimlerinin şiddetini de sınırlar ve bu sınır, kuantum mekaniği ile genel görelilik arasında büyük bir çatışmadan kaçınacak kadar büyüktür. Sicim kuramı bu yolla iki yapı arasındaki düşmanlığın önüne geçer ve ilk kez bu iki yapının birleşmesinin önünü açar.

Küçüğün Dünyasında Kozmik Doku

Bunun, daha genel olarak, uzay-zamanın mikroskobik-ötesi doğası için anlamı nedir? Önce, uzayın ve zamanın dokusunun sürekli olduğu kavramına -iki nokta arasındaki uzaklığın veya iki an arasında geçen sürenin tekrar tekrar ikiye bölünebileceği, böylece de uzayın ve zamanın sonsuza kadar daha küçük bölümlere ayrılabileceği kavramına- güçlü bir şekilde meydan okur. Planck uzunluğuna (sicimin uzunluğu) ve Planck zamanına (ışığın sicimin uzunluğunu kat etmesi için gereken süre) ulaştığınızda, eğer hâlâ uzayı ve zamanı daha küçük parçalara bölmeye çalışırsanız, bunu yapamayacağınızı fark edersiniz. Evrenin en küçük bileşenine ulaştığınızda, "daha küçültmek" kavramı anlamını kaybeder. Bu, sıfır-boyutlu nokta parçacıklar için bir sınırlama getirmez, ama sicimlerin boyutu olduğu için bir sınırlama getirir. Eğer sicim kuramı doğruysa, günlük yaşantımızın tamamının içinde yer aldığı olağan uzay ve zaman kavramlarının oluşturduğu yapı, en basitinden, Planck ölçeğinden -sicimlerin ölçeği- daha küçük ölçeklerde uygulanamaz.

Bunların yerini hangi kavramların aldığına gelince, bu konuda henüz bir fikir birliği yok. Sicim kuramının kuantum mekaniği ile genel göreliliği nasıl birleştirdiği konusunda yukarıdaki açıklamalara uyan bir olasılık şudur: Planck ölçeğinde uzayın dokusu bir ızgaraya benzetilebilir ama ızgaranın çizgileri "arasındaki" uzay fiziksel gerçekliğin sınırları dışında kalır. Nasıl basit bir dokuma parçası üzerinde yürüyen mikroskobik bir karınca iplikten ipliğe atlamak zorunda ise, uzayda mikroskobik ötesi ölçeklerde hareket de bir uzay "iplikçiğinden" diğerine sayısal bir "atlamayı" gerektiriyor olabilir. Zaman da tek tek anların birbirine yakın olduğu ama "dikişsiz" bir sürekliliğe ulaşmadığı, tanecikli bir yapıya sahip olabilir. Böyle düşününce, giderek küçülen uzay ve zaman aralıkları Planck ölçeğinde bir sona ulaşacaktır. Tıpkı kuruştan küçük bir para ölçü birimi olmaması gibi, eğer mikroskobik ötesi uzay-zaman bir ızgara yapıya sahipse, o zaman Planck uzunluğundan kısa uzaklık ve Planck zamanından kısa süre de olmaz.

Bir diğer olasılık uzay ve zamanın çok çok küçük ölçeklerde anlamını birden kaybetmemesi, yavaş yavaş diğer, çok daha temel kavramlara dönüşüyor olmasıdır. Planck ölçeğinden daha küçük boyutlara büzülmek yalnızca temel ızgaraya ulaştığımız için değil, "daha küçük yapma işi" sırasında uzay ve zaman kavramları, dokuz rakamının mutlu olup

olmadığını sormak kadar anlamsız bir şeye dönüştüğü için de sınırların dışına çıkıyor olabilir. Yani, bilindik makroskobik uzay ve zamanın yavaş yavaş bilindik olmayan, mikroskobik ötesi şeylere dönüştüğünü, bu durumda -uzunluk ve süre gibi- olağan özelliklerinden çoğunun ilgisiz veya anlamsız olduğunu düşünebiliriz. Nasıl sıvı suyun sıcaklığını veya akışkanlığını -bu kavramlar sıvının makroskobik özelliklerine uygulanabilir- anlamlı olarak inceleyebileceğiniz halde H20 molekülleri düzeyine indiğinizde bu kavramlar anlamını kaybediyorsa, belki de uzay bölgelerini ve zaman sürelerini gündelik ölçeklerde ikiye bölebildiğimiz halde, Planck ölçeğine ulaştığımızda böylesi bir bölme işi anlamını kaybediyor olabilir.

Benim de aralarında olduğum pek çok sicim kuramcısı, bu anlamda bir şeylerin gerçekten olduğundan kuvvetli bir biçimde kuşkulanıyor olsak da, daha ileriye gidebilmek için uzay ve zamanın dönüştüğü daha temel kavramların ne olduğunu bulmamız gerekiyor. Şimdiye kadar bu, cevapsız kalmış bir soruydu ama ileri düzeydeki araştırmalar (son bölümde anlatılacak), geniş anlamları olan bazı olasılıkları ileri sürmektedir.

Daha İnce Noktalar

Şimdiye kadar verdiğim tanımla, herhangi bir fizikçinin sicim kuramının çekiciliğine direnmesi şaşırtıcı görünebilir. işte, sonunda Einstein'ın rüyasını ve daha fazlasını gerçekleştirmeyi vadeden bir kuram; kuantum mekaniği ile genel görelilik arasındaki düşmanlığı giderebilecek olan bir kuram; her şeyi titrenen sicimlerle betimleyerek bütün maddeyi ve bütün kuvvetleri birleştirme kapasitesine sahip olan bir kuram; bilindik uzay ve zaman kavramlarının çevirmeli telefonlar kadar modası geçmiş kaldığı mikroskobik-ötesi bir gerçeklik ileri süren bir kuram; kısacası, evren hakkındaki kavrayışımızı yepyeni bir düzeye taşıma sözü veren bir kuram ortaya atılmıştı. Ama unutmayın ki, şimdiye kadar hiç kimse sicimi görmedi ve gelecek bölümde anlatılacak olan bazı bağımsız fikirler dışında, kuram doğru olsa bile, hiç kimse bir sicim görmeyecek. Sicimler o kadar küçüktür ki, doğrudan gözlenmeleri, bu sayfadaki yazıların yüz ışık-yılı uzaktan okunmasına eşdeğerdir: Bu gözlem, çağdaş teknolojinin sağladığı çözünürlük gücünün neredeyse milyar kere milyar katını gerektirir. Bazı bilim insanları, bağıra çağıra böylesi doğrudan sınamadan uzak bir kuramın fiziğin değil felsefenin veya teolojinin alanına girdiğini ileri sürüyorlar.

Bu bakış açısını dar görüşlü veya en azından vakitsiz buluyorum. Sicimleri doğrudan görebilecek teknolojiye hiçbir zaman sahip olmasak bile, bilim tarihi deneysel olarak dolaylı yollardan sınanmış olan kuramlarla doludur.13 Sicim kuramı mütevazı değildir. Hedefleri ve vaatleri büyüktür. Bu da hem heyecan verici, hem de yararlıdır çünkü eğer bir kuram, bizim evrenimizin kuramı olma iddiasında ise, gerçek dünyayı yalnızca şimdiye kadar anlatıldığı gibi genel düzeyde açıklaması yetmez, en küçük ayrıntıları da açıklayabilmelidir. Şimdi söz edeceğimiz gibi, bu konuda bazı potansiyel testler var.

1960'larda ve 1970'lerde parçacık fizikçileri maddenin kuantum yapısını ve davranışlarına yön veren, kütleçekimsel olmayan kuvvetleri anlamak yolunda dev adımlar attılar. Sonunda, deneysel sonuçların ve kuramsal fikirlerin onları yönlendirdiği yapı, parçacık fiziğinin standart modeli olup, kuantum mekaniğine, Tablo 12.1 'deki madde parçacıklarına ve Tablo 12.2'deki kuvvet parçacıklarına dayanır ki bunların hepsi de nokta-parçacıklardır (standart model kütleçekimini kapsamadığından gravitonu göz ardı ediyoruz, tablolarda yer almayan Higgs parçacığını kapsıyoruz). Standart model esas olarak dünyadaki atom çarpıştırıcılarında ortaya çıkan bütün verileri açıklayabiliyor ve yıllar boyunca bu kuramı ortaya koyanlar haklı olarak en büyük övgüleri aldılar. Bu durumda bile standart modelin oldukça çok sayıda sınırlılıkları var. Standart kuramın ve sicim kuramından önce gelen diğer kuramların kütleçekimi ve kuantum mekaniğini birleştirmekte nasıl başarısız olduklarını zaten inceledik. Ama bunun yanısıra başka eksiklikler de var.

Standart model, kuvvetlerin neden tam listesi Tablo 12.2'de görülen parçacıklar tarafından iletildiğini ve maddenin neden tam listesi Tablo 12.1'de görülen parçacıklar tarafından oluşturulduğunu açıklayamadı. Neden üç madde parçacığı ailesi var ve bu parçacıklar neden bu ailelere ait? Neden iki ya da yalnızca bir aile yok? Elektronun elektrik yükü neden bir aşağı-kuarkın elektrik yükünün tam üç katı? Neden bir müonun kütlesi bir yukarı-kuarkın kütlesinin 23,4 katı ve neden bir üst-kuarkın kütlesi bir elektronunkinin yaklaşık 350.000 katı? Evren neden görünüşe göre rastgele olan bu sayılarla oluşuyor? Standart model Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacıkları (gravitonu dışarıda tutarak) veri kabul eder ve bu parçacıkların birbirleriyle nasıl etkileşecekleri konusunda kesin öngörülerde bulunur. Ama nasıl hesap makineniz, sizin son girdiğiniz rakamları açıklayamazsa, standart model de girdileri -parçacıkları ve özelliklerini- açıklayamaz.

Bu parçacıkların özellikleri konusunda merak duymak, şu veya bu ayrıntının neden öyle değil de böyle olduğuna ilişkin akademik bir sorun değildir. Geçen yüzyılda bilim insanları, evrenin bildiğimiz özelliklere sahip olmasının yalnızca Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacıkların o özelliklere sahip olmalarından kaynaklandığını fark ettiler. Örneğin bazı parçacıkların kütlelerinde veya elektrik yüklerinde ortaya çıkabilecek küçük değişiklikler onların yıldızların parlamasını sağlayan nükleer reaksiyonlara girememeleriyle sonuçlanabilirdi. Yıldızların olmadığı bir evren de bambaşka bir evren olurdu. Bu yüzden, temel parçacıkların ayrıntılı özellikleri, birçoklarının tüm bilimdeki en derin soru gözüyle baktıkları şu soruyla iç içe geçmiştir: Temel parçacıkların, nükleer reaksiyonlara girmelerini, yıldızların parlamalarını, yıldızların çevresinde gezegenlerin oluşmasını ve bu gezegenlerin en azından birinde yaşamın ortaya çıkmasını sağlayacak, doğru özelliklere sahip olmalarının nedeni nedir?

Parçacık özellikleri gerekli girdinin bir parçası olduğu için, standart model bu soruya herhangi bir cevap veremez. Parçacık özellikleri belirlenmeden önce kuram yola çıkıp bir sonuca ulaşamaz. Ama sicim kuramı farklıdır. Sicim kuramında parçacık özellikleri sicimlerin titrenim desenleri tarafından belirlenir ve bu nedenle de bir açıklama getirme iddiasındadır.

Sicim Kuramında Parçacık Özellikleri

Sicim kuramının yeni açıklayıcı yapısını anlamak için, sicim titrenimlerinin parçacık özelliklerini nasıl ürettiği konusunu daha iyi kavramış olmamız gerekir, bu nedenle bir parçacığın en basit özelliğini, kütlesini ele alalım.

E = mc2 den kütle ve enerjinin birbirine dönüşebileceğini biliyoruz; tıpkı dolar ve euro gibi bunlar da değiştirilebilir geçerliktedir (ama paraların aksine, değişim oranları sabit olup ışık hızı, c2 tarafından belirlenir). Yaşamımız Einstein'ın denklemine dayanır çünkü Güneş'in yaşam veren ısı ve ışığı, her saniye 4.3 milyon ton maddenin enerjiye dönüştürülmesi sonucunda üretilir; eğer günün birinde Güneş'te olagelen reaksiyonların yeryüzünde kontrollü bir şekilde oluşturulması başarılabilirse, Einstein'ın denklemi sayesinde insanlık sınırsız bir enerji potansiyeline kavuşabilir.

Bu örneklerde kütleden enerji elde ediliyor. Ama Einstein'ın denklemi diğer yönde de -enerjiden kütle elde edilen yön- çok iyi işler. Sicim kuramı Einstein'ın denklemini işte bu yönde kullanır. Sicim kuramında bir parçacığın kütlesi titrenen sicimin enerjisinden başka bir şey değildir. Örneğin sicim kuramının bir parçacığın neden diğerinden daha ağır olduğu konusuna getirdiği açıklama, ağır parçacığı oluşturan sicimin hafif parçacığı oluşturan sicimden daha hızlı ve daha şiddetli titrendiği şeklindedir. Daha hızlı ve daha şiddetli titrenim, daha yüksek enerji anlamına gelir, daha yüksek enerji de, Einstein'ın denklemi yoluyla, daha büyük kütle demektir. Tersine, parçacık hafifledikçe, onu oluşturan sicimin tireşimi de daha yavaş ve daha hafif hale gelir; foton ya da graviton gibi kütlesiz parçacıklar, olabileceği kadar yavaş ve hafif titrenen sicimlere karşılık gelirler.

Bir parçacığın elektrik yükü ve spin gibi diğer özellikleri, sicimin titreniminin tanımlanması daha zor, daha karmaşık özellikleri ile ilgilidir. Kütle ile karşılaştırıldığında, bu özelliklerin matematiksel olmayan yollarla tanımlanması daha zor olmakla birlikte, ana fikir aynıdır: Titrenim desenleri bir sicimin parmak izleridir, bir parçacığı diğerinden ayırt etmek için kullandığımız bütün özellikler, o parçacığın siciminin titrenim desenleri tarafından belirlenirler.

1970'lerin başlarında, sicim kuramının ilk ortaya çıkışı sırasında -bozonik sicim kuramı- fizikçiler kuramın öngördüğü parçacık özelliklerinin türlerini belirlemek amacıyla titrenim desenlerini çözümlemeye çalışırken beklenmedik bir güçlükle karşılaştılar. Bozonik sicim kuramında her titrenim deseni tamsayı spine sahipti: spin-0, spin-1, spin-2 vb. Bu bir sorundu, çünkü lıer ne kadar haberci parçacıklar bu tür spinlere sahip olsalar da, madde parçacıkları (elektron ve kuark gibi) kesirli spine (spin-1/2) sahiplerdi. 1971'de Florida Üniversitesi'nden Pierre Ramond hu yetersizliği gidermek üzere kolları sıvadı; kısa sürede de bozonik sicim kuramının denklemlerinde yarı-tamsayı titrenim desenlerine izin veren değişiklikler yapmanın bir yolunu buldu.

Gerçekten de, yakından bakıldığında, Ramond'ın araştırması, Schwarz ve çalışma arkadaşı Andre Neveu'nun bulduğu sonuçlar ve daha sonraları Ferdinando Gliozzi, Joel Scherk ve David Olive'ın fikirlerinin katkılarıyla, değiştirilmiş sicim kuramındaki farklı spin değerlerine sahip olan titrenim desenleri arasında mükemmel bir denge -yeni bir simetri- olduğunu ortaya koydu. Bu araştırmacılar, yeni titrenim desenlerinin spin değerleri birbirinden yarım birim farklı çiftler halinde ortaya çıktığını buldular. Spini-

1/2 olan her titrenim deseni için, spini 0 olan bir titrenim deseni daha vardı. Spini 1 olan her titrenim deseni için spini-1/2 olan bir titrenim deseni daha vardı vb. Tamsayı ve yarı-tamsayı spin değerleri arasındaki ilişkiye süpersimetri adı verildi ve bu sonuçlarla süpersimetrik sicim kuramı veya süpersicim kuramı doğdu. Hemen hemen on yıl sonra Schwarz ve Green, sicim kuramını tehdit eden bütün potansiyel kural dışılıkların birbirlerini sadeleştirdiklerini gösterdiğinde, aslında süpersicim kuramının yapısı üzerinde çalışıyorlardı ve böylece, hazırladıkları makaledeki devrim 1984'te, daha uygun olarak konmuş adıyla ilk süpersicim devrimini ateşledi. (Bundan sonra sık sık sicimler ve sicim kuramından söz edeceğiz ama bunlar kısaltmadır; söz etmeyi amaçladığımız şey, süpersicimler ve süpersicim kuramıdır.)

Bu altyapı ile artık sicim kuramının genel özelliklerin ötesine geçerek evreni ayrıntılı olarak açıklamasının ne anlama geldiğini ifade edebiliriz. Sonunda şuna gelir: Sicimlerin sergileyebilecekleri titrenim desenlerinin arasında, özellikleri bilinen parçacık türleriyle örtüşen desenler bulunmalıdır. Kuramda spini olan titrenim desenleri vardır ama Tablo 12.1 de özetlendiği gibi, bilinen madde parçacıklarıyla tam olarak örtüşen, 1/2 spine sahip titrenim desenleri olmalıdır. Kuramda spini 1 olan titrenim desenleri vardır ama Tablo 12.2'de özetlendiği gibi, bilinen haberci parçacıklarıyla tam olarak örtüşen titrenim desenleri olmalıdır. Son olarak, eğer deneylerde gerçekten Higgs alanlarının öngördüğü gibi, spini 0 olan parçacıklar bulunuyorsa, sicim kuramı bu parçacıkların özellikleriyle de tam olarak örtüşen titre- nim desenlerini kapsamalıdır. Kısacası, sicim kuramının uygulanabilir olması için, titrenim desenlerinin standart modeldeki par-çacıklara yer vermesi ve onları açıklaması gerekir.

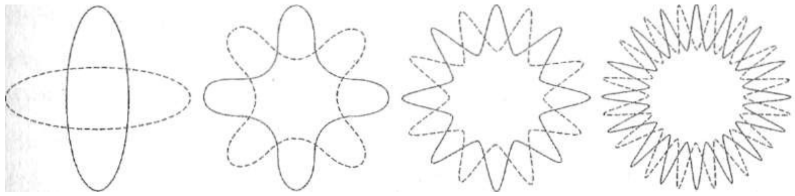
İşte sicim kuramının önündeki büyük fırsat budur. Eğer sicim kuramı doğruysa, deneycilerin ölçtüğü parçacık özellikleri için bir açıklaması vardır ve bu açıklama sicimlerin sergileyebilecekleri titrenim desenlerinde bulunmalıdır. Eğer bu titrenim desenlerinin özellikleri Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacık özellikleriyle örtüşürse, o zaman isterse sicimin yapısını ve varlığını hiç kimse görmemiş olsun, bunun sicim kuramının doğruluğundan en çok kuşku duyanları bile ikna edeceğini düşünüyorum. Kuram ile deneysel veriler arasında böylesi bir uyumla, kendini uzun süredir aranan birleşik kuram olarak kabul ettirmesinin ötesinde sicim kuramı her şeyin neden böyle olduğu yolunda ilk temel açıklamayı da sağlamış olacaktır.

Acaba sicim kuramı bu kritik sınavda ne yapar?

Çok Fazla Titrenim

İlk bakışta sicim kuramı başarısız olur. ilk olarak, sonsuz sayıda farklı sicim titrenim deseni vardır, bu sonsuz dizinin ilk birkaç tanesi Şekil 12.4'te görülüyor. Ama Tablo 12.1 ve 12.2'de yalnızca sınırlı sayıda parçacık vardır, bu nedenle sicim kuramıyla gerçek dünya arasında dev bir uyuşmazlık varmış gibi görünür. Üstelik bu titrenim desenlerinin olası enerjilerini -dolayısı ile de kütlelerini- matematiksel olarak incelediğimizde, kuram ve gözlem arasında bir başka uyumsuzlukla da karşı karşıya kalırız. İzin verilen sicim titrenim desenlerinin kütleleri, deneysel olarak ölçülen ve Tablo 12.1 ve 12.2'de gösterilen parçacık kütleleri ile hiçbir benzerlik taşımaz. Bunun neden böyle olduğunu görmekse, zor değildir.

Sicim kuramının ilk günlerinden bu yana, araştırmacılar bir sicimin sertliğinin uzunluğuyla (daha doğrusu uzunluğunun karesiyle) ters orantılı olduğunu anladılar: Uzun sicimler kolayca bükülürken, sicim kısaldıkça bükülmesi daha zorlaşır. 1974'te Schwarz ve Scherk, doğru kütleçekimi kuvvetlerini temsil etmeleri amacıyla sicimlerin boyunu kısaltmayı ortaya attıklarında, aynı zamanda sicimlerin üzerindeki gerilimi de artırmayı önermiş oldular. Böylece bir sicimin üzerindeki gerilim bin trilyon kere trilyon kere trilyon (1039) ton, yani ortalama bir piyano teli üzerindeki gerilimin 100000000000000000000000000000000000000000 (1041) katıdır. Şimdi, çok küçük ve son derece sert bir sicimi bükerek onu Şekil 12.4'teki karmaşık şekillerden biri haline getirmeyi gözünüzde canlandırırsanız, ne kadar çok sayıda tepe ve çukur varsa, o kadar fazla enerji harcamanız gerektiğini anlarsınız. Tersine, bir sicim böyle bir desen sergileyerek titre- nirse, devasa miktarda bir enerjiyi barındırır. Bu yüzden, en basitleri dışındaki titrenim desenleri, çok yüksek miktarda enerjiye sahiptir ve E = mc2 formülü yoluyla devasa kütleli parçacıklara karşılık gelirler.



Şekil 12.4 Sicim titreşim şekillerinin birkaç örneği

Ve devasa sözcüğüyle gerçekten devasa bir miktarı kastediyorum. Hesaplar, sicim titrenimlerinin kütlelerinin müzik armonisine benzer bir dizi izlediğini ortaya koyuyor: Nasıl armonikler temel bir tonun ya da frekansın katlan ise, kütleler de temel bir kütlenin, Planck kütlesinin katlarıdır. Parçacık fiziğinin standartlarıyla Planck kütlesi çok büyüktür: Protonun kütlesinin 10 milyar kere milyar (1019) katı, kabaca bir toz zerreciğinin veya bir bakterinin kütlesidir. Bu nedenle sicim titrenimlerinin olası kütleleri 0 kere Planck kütlesi, 1 kere Planck kütlesi, 2 kere Planck kütlesi, 3 kere Planck kütlesi vb. şeklinde gider ve bu da 0-kütleli sicim titrenimi dışındakilerin kütlelerinin çok büyük olduğunu gösterir.

Görebileceğiniz gibi, Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacıklardan kimileri gerçekten kütlesizdir, ama çoğu değildir. Tablolardaki sıfırdan farklı kütlelerin Planck kütlesine olan uzaklığı, Brunei Sultanının borçlanma ihtiyacına olan uzaklığından daha fazladır. Bu nedenle, bilinen parçacık kütlelerinin, sicim kuramı tarafından ileri sürülen desenle uyuşmadığını açıkça görebiliyoruz. Bu, sicim kuramının saf dışı kaldığını mı gösterir? Öyle düşünüyor olabilirsiniz, ama öyle değil. Kütleleri bilinen parçacıkların kütlelerinden giderek uzaklaşan sonsuz sayıda titrenim desenleri listesine sahip olmak, kuramın üstesinden gelmesi gereken bir durumdur. Yıllarca süren araştırmalar, bunu yapmanın umut verici stratejilerini ortaya koymuştur.

Başlangıç olarak, bilinen parçacık türleriyle yapılan ve bize ağır parçacıkların kararsız olma eğiliminde olduğunu öğreten deneylerden söz etmeliyiz; ağır parçacıklar tipik bir biçimde çabucak bozunarak daha hafif parçacıklara ve eninde sonunda Tablo 12.1 ve 12.2'deki tanıdık türlere dönüşürler. (Örneğin üst-kuark yaklaşık 10-24 saniyede bozunur.) Bu tablonun "süper ağır" sicim titrenim desenleri için de geçerli olmasını bekleriz ve bu da, evrenin çok sıcak olan ilk anlarında bol miktarda üretilmiş olsalar bile, günümüzde bu parçacıklara neden çok seyrek

Tasladığımızı açıklar. Sicim kuramı doğru olsa bile, süper ağır titrenim desenlerini görmek için tek şansımız, bunları parçacık hızlandırıcılarındaki yüksek enerjili çarpışmalarda üretmektir. Bununla birlikte, günümüzdeki hızlandırıcılar yalnızca protonun 1000 katına eşdeğer enerjilere ulaşabildikleri için, sicim kuramının en hafif titrenim desenlerini bile ortaya çıkaramayacak kadar zayıf kalırlar. Bu yüzden sicim kuramının, kütleleri günümüz teknolojisiyle ortaya çıkarılabileceklerin milyon kere milyar katından başlayan parçacıkların varlığını öngörmesi gözlemlerle ters düşmez.

Bu açıklama aynı zamanda sicim kuramıyla parçacık fiziği arasındaki temasın yalnızca en düşük-enerjili -kütlesiz- sicim titrenimlerini kapsayacağını da ortaya koyar, çünkü diğerleri günümüz teknolojisiyle ulaşamayacağımız kadar uzakta olacaktır. Ama Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacıklardan çoğunun kütlesiz olmadığı gerçeğine ne demeli? Bu konu önemli olmakla birlikte ilk bakışta sanıldığı kadar sorunlu değildir. Planck kütlesi çok büyük olduğu için, bilinen en büyük kütleli parçacık olan üst-kuarkın kütlesi bile Planck kütlesinin 0,0000000000000000116 (yaklaşık 10-17) katıdır. Elektrona gelince, onun kütlesi de Planck kütlesinin 0,000000000000000000000034 (yaklaşık 10"23) katıdır. Bu nedenle Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacıkların kütlesi, sicim kuramı taralından "öngörüldüğü" gibi, 10 de bir hatayla Planck kütlesinin 0 katıdır (tıpkı biz Dünyalılardan çoğunun servetinin Brunei Sultanı'nın servetinin 0 katı olduğu gibi). Amacımız bu yaklaştırımı iyileştirmek ve sicim kuramının, Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacıkların tipik özelliği olan Planck kütlesinin 0 katından minik sapmaları açıkladığını göstermektir. Ama kütlesiz titrenim desenleri, başlangıçta düşünmüş olabileceğiniz gibi, verilerle çok ters düşmez.

Bu, cesaret vericidir ama yakından, ayrıntılı bir bakış, başka zorluklar da olduğunu ortaya koyar. Fizikçiler, süpersicim kuramının denklemlerini kullanarak bütün kütlesiz sicim titrenim desenlerinin bir listesini yapmışlardır. Bu listedekilerden biri spini 2 olan gravitondur ve bu da yepyeni bir konuyu ortaya çıkaran büyük bir başarıdır; çünkü kütleçekiminin de kuantum sicim kuramının bir parçası olmasını sağlar. Ama hesaplar, Tablo I 2.2 deki parçacıklardan çok daha fazla sayıda spini 1 olan titrenim deseni olduğunu ve Tablo 12.1'deki parçacıklardan çok daha fazla sayıda spini 1/2 olan titrenim deseni olduğunu da gösteriyor. Üstelik spini olan titrenim desenlerinin listesinde, Tablo 12.1'deki aile yapısına

benzer herhangi bir tekrara ilişkin bir iz de yok. O zaman, daha dikkatli bir inceleme sonucunda sicim titrenimlerinin hangi bilinen parçacık türleriyle denk düştüğünü görmek giderek zorlaşıyor.

Bu yüzden 1980'lerin ortalarında, sicim kuramı konusunda hem heyecan hem de kuşku duymak için de nedenler vardı. Süpersicim kuramı, inkâr edilemeyecek bir biçimde, birleştirmeye doğru atılan cesur bir adımın temsilcisiydi. Kütleçekimi ve kuantum mekaniğini birleştirme yolunda ilk tutarlı yaklaşımı sağlayarak Roger Bannister'in dört dakikalık mil için yaptığını yaptı: Görünürde olanaksız gibi görünen bir şeyi olanaklı hale getirdi. Süpersicim kuramı yirminci yüzyıl fiziğinin iki direği arasındaki engelleri yıkabileceğimizi kesin bir biçimde ortaya koydu.

Ama fizikçiler, daha ileri gitmek ve süpersicim kuramının, maddenin ve doğadaki kuvvetlerin ayrıntılı özelliklerini açıklayabildiğim göstermekte güçlüklerle karşılaştılar. Bu da, kuşkucuların, bütün birleştirme potansiyeline rağmen süpersicim kuramının, fiziksel evrenle ilgisi olmayan matematiksel bir yapı olduğunu ileri sürmelerine yol açtı.

Bu problemle birlikte bile, kuşkucuların süpersicim kuramının eksiklikleri listesinin başında henüz söz etmediğim bir özellik vardı. Süpersicim kuramı gerçekten kütleçekimi ve kuantum mekaniğini başarıyla, daha önceki girişimleri başarısızlığa uğratan matematiksel tutarsızlıklardan temizlenmiş bir şekilde birleştirme yolunu açmıştır. Bununla birlikte, kulağa garip gelse bile, keşfedildiği ilk yılların hemen ertesinde fizikçiler süpersicim kuramının denklemlerinin, evrenin üç uzaysal boyutu olması durumunda, gerekli olan özelliklere sahip olmadığını buldular. Süpersicim kuramının denklemleri yalnızca eğer evren dokuz uzaysal boyuta sahip ise veya zaman boyutu da katılırsa, on uzay-zaman boyutuna sahip ise matematiksel olarak tutarlıdır!

Bu kulağa gerçeküstü gibi gelen iddiayla karşılaştırıldığın da, sicim titrenim desenleriyle bilinen parçacık türleri arasındaki uyum, ikincil öneme sahip olan bir konu gibi görünüyor. Süpersicim kuramı, şimdiye kadar hiç kimsenin görmediği altı uzay boyutunun varlığını gerektiriyor. Bu, iyi bir şey değil; bu bir sorun.

Acaba öyle mi?

Yirminci yüzyılın ilk çeyreğinde, henüz sicim kuramının sahneye çıkmadığı dönemlerde yapılan kuramsal keşifler, fazladan boyutların sorun

olmaması gerektiğini göstermişti. Yirminci yüzyılın sonlarındaki güncelleme ile fizikçiler, bu fazladan boyutların sicim kuramının titrenim desenleriyle deneycilerin keşfettiği temel parçacıklar arasındaki boşluğu doldurma kapasitesine sahip olduğunu gösterdiler.

Bu, kuramdaki en sevindirici gelişmelerden biridir; şimdi nail işlediğini görelim.

Daha Yüksek Boyutlardaki Birleşme

1919'da Einstein, kolayca sabit fikirli birisinin sayıklamaları olarak bir kenara atılabilecek bir makale okudu. Adı az bilinen Alman matematikçi Theodor Kaluza tarafından yazılmış olan bu makalede birkaç sayfada, o zaman bilinen kuvvetler olan kütleçekimi ve elektromanyetik kuvvetin birleştirilmesi için bir yaklaşım anlatılıyordu. Bu amaca ulaşmak için Kaluza, o zamana kadar tartışılmaz bir şekilde doğru kabul edilen ve temel alınan şeylerden öylesine kökten bir ayrılış önermişti ki, bu fikir tartışılmaya bile değmez gibi görünüyordu. Evrenin üç uzay boyutu olmadığını iddia ediyordu. Kaluza Einstein'dan ve diğer fizikçilerden, evrenin dört uzay boyutu olduğunu, zaman da katılırsa, toplam beş uzay-zaman boyutu olduğunu kabul etmelerini istiyordu.

Her şeyden önce, bu ne anlama geliyordu? Uç uzay boyutu olduğunu söylediğimiz zaman, üzerinde hareket edebileceğimiz, birbirinden bağımsız üç yön veya eksen olduğunu kastederiz. Bunları sola/sağa, ileri/geri ve aşağı/yukarı olarak tanımlayabiliriz; üç uzay boyutuna sahip olan bir evrende yaptığınız herhangi bir hareket, bu üç yöndeki hareketlerin bir bileşimidir.

Buna eşdeğer şekilde, üç uzay boyutuna sahip olan bir evrende bir konumu belirlemek için tam olarak üç bilgiye ihtiyacınız vardır. Örneğin bir şehirde, akşam yemeğine çağıracağınız konukların adresi bulabilmeleri için binanın bulunduğu caddenin, sokağın adını ve dairenin binanın hangi katında olduğunu bilmeleri gerekir. Eğer konukların yemekler soğumadan gelmiş olmalarını istiyorsanız, bir bilgi daha vermelisiniz: Zaman, işte uzay- zamanın dört boyutlu olduğunu söylerken kastettiğimiz budur.

Kaluza, sola/sağa, ileri/geri ve aşağı/yukarıya ek olarak, astında bir nedenden ötürü şimdiye kadar kimsenin görmediği daha fazla sayıda uzaysal boyut olduğunu ileri sürüyordu. Eğer doğruysa bunun anlamı, üzerinde hareket edilebilecek, bağımsız bir yönün daha olduğu ve böylece, uzayda bir noktanın konumunu belirlemek için dört bilgiye, zamanı da belirlemek istiyorsak beş bilgiye ihtiyacımız olduğuydu.

Tamam, Einstein'ın 1919 Nisanında okuduğu makalenin iddia ettiği şey buydu. Soru şu: Neden Einstein bu makaleyi fırlatıp atmadı? Bir başka uzay boyutu görmüyoruz -cadde, sokak ve kat bilgileri yetersiz olduğu için kendimizi sokaklarda başıboş gezerken bulmuyoruz- o zaman bu acayip fikir hakkında uzun uzadıya düşünmek neden? Nedeni şu. Kaluza, Einstein'ın genel görelilik kuramı denklemlerinin matematiksel olarak kolayca bir tane daha fazla uzay boyutu olan bir evrene genişletilebileceğini anlamıştı. Kaluza bu genişletilmeyi göz önüne aldı ve doğal olarak, genel göreliliğin daha yüksek-boyutlu versiyonunun Einstein'ın özgün kütleçekimi denklemlerini kapsamakla kalmadığını, fazladan uzay boyutu nedeniyle fazladan denklemlere de sahip olduğunu buldu. Kaluza, bu fazladan denklemleri incelediği zaman olağandışı bir şey keşfetti: Fazladan denklemler Maxwell'in ondokuzuncu yüzyılda, elektromanyetik alanı tanımlamak için kullandığı denklemlerden başkası değildi! Evrenin fazladan, yeni bir uzay boyutu olduğunu varsayarak, Kaluza, Einstein'ın bütün fizikteki en önemli problemlerden bir gözüyle baktığı probleme bir çözüm getirmişti. Kaluza Einstein'ın özgün genel görelilik denklemlerini Maxwell'in elektromanyetik denklemleriyle birleştiren biryapı bulmuştu. İşte Einstein'ın Kaluza'nın makalesini fırlatıp atmamasının nedeni buydu.

Sezgisel olarak, Kaluza'nın makalesi konusunda şöyle düşünebilirsiniz. Genel görelilikle Einstein uzay ve zamanı uyandırdı. Bunlar gerilip uzarken Einstein, kütleçekiminin geometrik olarak somutlaşmış örneğini bulduğunu anladı. Kaluza'nın makalesi ise uzay ve zamanın geometrik uzanımının daha büyük olduğunu ileri sürdü. Einstein, kütleçekimi alanlarının olağan üç uzay ve bir zaman boyutundaki eğrilmeler ve dalgacıklar olarak gösterilebileceğini anlamıştı, Kaluza ise fazladan bir uzay boyutu olan bir evrende fazladan eğrilmeler ve dalgacıklar olacağını buldu. Yaptığı çözümleme, bu eğrilmeler ve dalgacıkların, elektromanyetik alanı tanımlamakta kullanılabileceğini gösterdi. Kaluza'nın ellerinde Einstein'ın evrene kendi geometrik yaklaşımının, kütleçekimi ve elektromanyetizmayı birleştirecek kadar güçlü olduğu kanıtlanmış oldu.

Elbette, hâlâ bir sorun vardı. Her ne kadar matematik işliyorsa da, bildiğimiz üçünün ötesindeki bir uzay boyutu konusunda hiçbir ipucu yoktu, hâlâ da yok. Öyleyse Kaluza'nın keşfi yalnızca bir merak sonucu muydu yoksa bir şekilde evrenimizle bağlantılı mı? Kaluza'nın kurama güveni tamdı -örneğin yüzmeyi anlatan bir broşürü okuduktan sonra doğrudan denize atlayarak yüzme öğrenmişti- ama kuram ne kadar çekici olursa olsun, görünmez bir uzay boyutu fikri hâlâ kulağa aykırı geliyordu. Daha sonra, 1926'da İsveçli fizikçi Oskar Klein, Kaluza'nın fikrine fazladan boyutun nerede gizleniyor olabileceğini öneren yeni bir yön verdi.

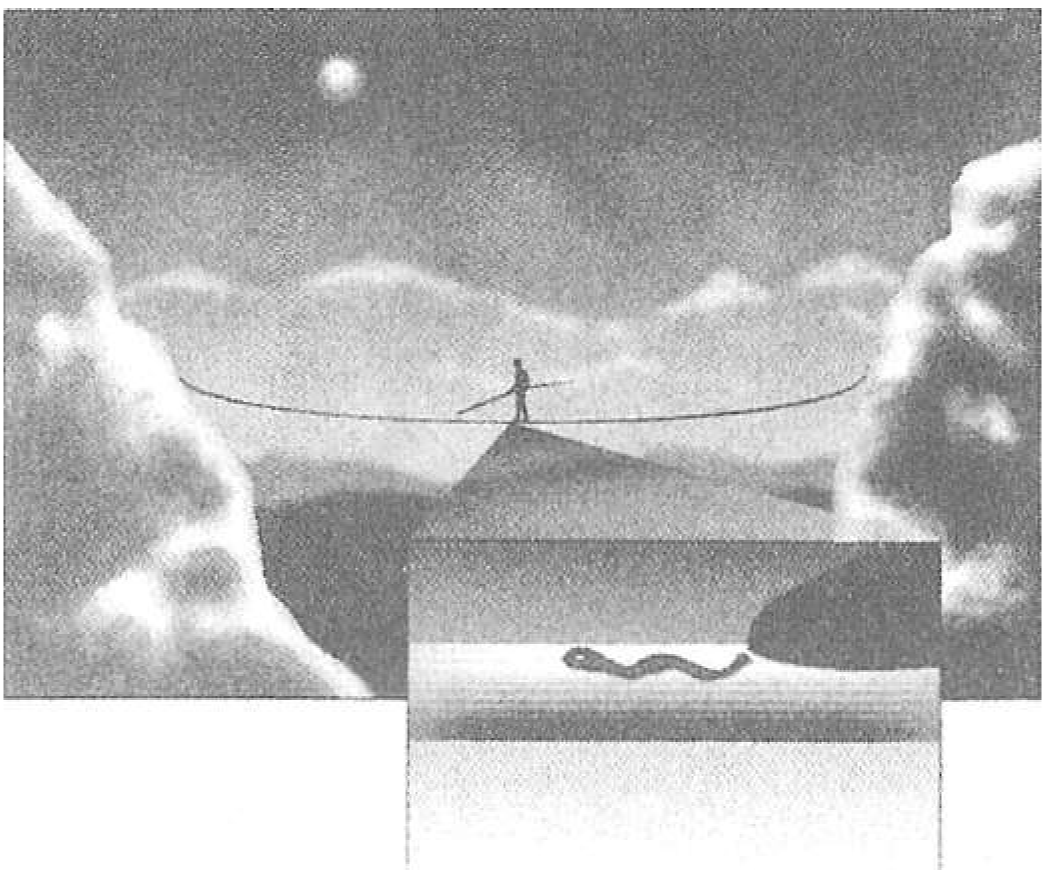
Gizli Boyutlar

Klein'in fikrini anlamak için, Philippe Petit'nin Everest Tepesi ile Lhotse arasında gerilmiş olan lastik kaplı, gergin bir halat üzerinde yürüdüğünü düşünün. Kilometrelerce uzaktan bakıldığında gergin halat, Şekil 12.5'te görüldüğü gibi, tek boyutlu bir nesne -bir çizgi- gibi, yani yalnızca boyu yönünde uzayan bir nesne gibi görünür. Eğer bize Philippe'in önünde, halatın üzerinde minik bir solucanın sürünerek ilerlemekte olduğu söylenirse, onu çılgınca destekleriz, çünkü felaketten kaçınmak için sürekli olarak Philippe'in ilerisinde kalmak zorundadır. Elbette bir an düşününce, doğrudan algılayabileceğimiz sol/sağ boyutunun ötesinde, gergin halatın bir yüzeyi olduğunu anlarız. Her ne kadar uzaktan çıplak gözle görmek zor olsa da, gergin halatın yüzeyinin ikinci bir boyutu vardır: Etrafına "sarılmış" olan saat yönünde/saat yönünün tersine boyut. Küçük bir teleskopla bu çembersel boyut görünür hale gelir ve solucanın yalnızca uzun sol/sağ yönünde değil, kısa, "kıvrılmış", saat yönünde/saat yönünün tersine olan boyutta da hareket edebileceğini görürüz. Yani, gergin halatın yüzeyindeki her noktada solucanın, üzerinde hareket edebileceği, birbirinden bağımsız iki yön vardır (gerili halatın yüzeyinin iki-boyutlu olduğunu söylerken kastettiğimiz budur), öyleyse güvende kalmak için ya başlangıçta düşündüğümüz gibi Philippe'in önünde sürünerek ilerleyebilir ya da minik, çembersel boyut yönünde ilerleyerek halatın alt yüzeyine geçerek Philippe'in yukarıdan geçmesini sağlayabilir.

Gerili halat, boyutların -herhangi bir şeyin üzerinde hareket edebileceği bağımsız yönler- niteliksel olarak iki farklı türde olabileceğini gösteriyor. Bu boyutlar halat yüzeyinin sol/sağ yönündeki boyutu gibi büyük ve görülmesi kolay olabileceği gibi, halat yüzeyinin etrafına dolanan saat

yönünde/saat yönünün tersine boyutu gibi minik ve görülmesi zor da olabilirler. Bu örnekte, gergin halatın yüzeyini çevreleyerek kıvrılan çembersel boyutu görmek çok zor değildir. Bütün sahip olmamız gereken, mantıklı bir büyütme aracıdır. Ama tahmin edebileceğiniz gibi, kıvrılmış boyut ne kadar küçükse, onu saptamak da o kadar güçleşir.

Birkaç kilometre uzaktan gergin bir halatın yüzeyinde kıvrılmış olan bir boyutu ortaya çıkarmak bir şeydir, bir diş temizleme ipinin ya da incecik bir sinir telinin kıvrılmış, çembersel boyutunu ortaya çıkarmaksa başka bir şeydir.



Şekil 12.5 Uzaktan, gergin halat tek-boyutlu görünür ama yeterince güçlü bir teleskopla ikinci, kıvrılmış boyutu görünür hale gelir.

Klein'ın katkısı, evrenin içinde bulunan bir nesne için doğru olan bir şeyin, evrenin kendi dokusu için de doğru olabileceğini ileri sürmekti. Yani,

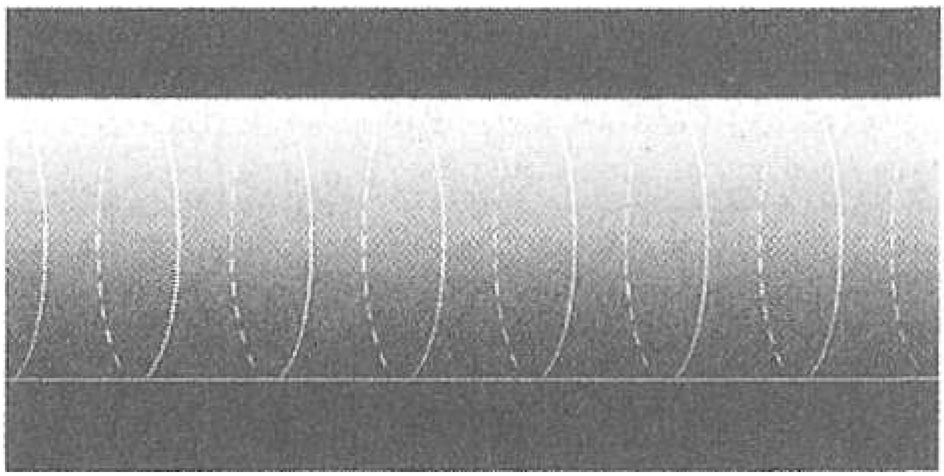
nasıl gergin bir halatın büyük ve küçük boyutları varsa, evrenin dokusunun da olabilir. Belki de bildiğimiz üç boyut -sol/sağ, ileri/geri, aşağı/yukarı- gergin halatın yatay, uzunlamasına boyutu gibi büyük, görmesi kolay boyutlar olabilirler. Ama nasıl gergin halatın yüzeyinde fazladan, küçük, kıvrılmış, çembersel bir boyut daha varsa, uzayın dokusunun da küçük, kıvrılmış, çembersel bir boyutu olabilir. Bu boyut, hiç kimsenin onun varlığını ortaya çıkaracak kadar güçlü bir araca sahip olmadığı kadar küçük olabilir. Klein, bu boyutun minik ölçüsü nedeniyle gizli kalmış olabileceğini ileri sürdü.

Küçük, ne kadar küçüktür? Kuantum mekaniğinin bazı özelliklerini Kaluza'nın özgün makalesine uygulayan Klein'ın matematiksel çözümlemesi, fazladan çembersel uzay boyutunun yarıçapının Planck uzunluğu kadar olabileceğini ortaya koydu. Bu, elbette deneysel erişimin çok uzağındadır (modern araçlar l)ir atom çekirdeğinin binde birinden daha küçük şeyleri çözümleyemiyor ki bu da Planck uzunluğunun milyon kere milyar kat uzağında kalmak demek). Ama hayali, Planck boyutlarında bir solucan için bu minik, kıvrılmış, çembersel boyut, tıpkı sıradan bir solucanın Şekil 12.5'teki gergin halatın çembersel boyutunda hareket etmesi gibi, üzerinde ilerleyebileceği yeni bir yön sağlayacaktır. Elbette nasıl sıradan bir solucan bu çembersel boyutta saat yönünde hareket ederken çok geçmeden kendini yeniden başladığı noktada bulursa, çembersel boyutta sürünen Planck boyutunda bir solucan da sürekli olarak başladığı noktaya dönecektir. Ama kat ettiği uzaklığı bir yana bırakırsak, kıvrılmış olan boyut, minik solucana tıpkı bildiğimiz üç boyut gibi üzerinde serbestçe hareket edebileceği bir yön sağlar.

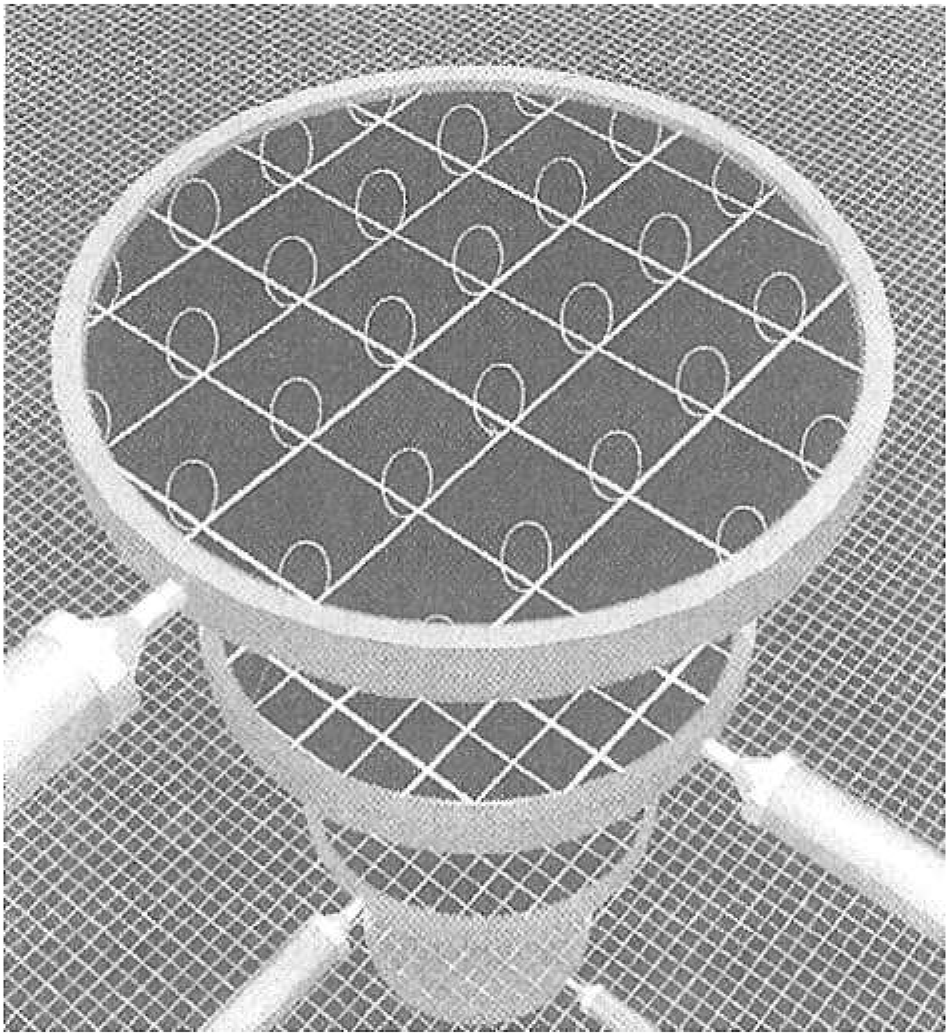
Bunun neye benzediği konusunda sezgisel bir his edinmek için, gergin halatın kıvrılmış boyutu olduğunu söylediğimiz şeyin -saat yönünde/saat yönünün tersine- halatın uzun boyutunun her noktasında var olduğuna dikkat edin. Solucan, gergin halatın uzun boyutunun (ekseninin) her noktasında bu çember- sel boyut doğrultusunda hareket edebilir, bu nedenle gergin halatın yüzeyinin, Şekil 12.6'daki gibi, her noktasında minik, çembersel bir yön barındıran bir uzun boyutu olduğu söylenebilir. Bu, akılda tutulması yararlı olan bir görüntüdür, çünkü Klein'ın Kaluza'nın fazladan uzay boyutunun nasıl gizlendiği önerisine de uygulanır.

Bunu görmek için, yine Şekil 12.7'deki gibi, uzayın dokusunun gittikçe daha küçük uzaklık ölçeklerinde gösterildiği bir diziyi inceleyelim. ilk birkaç büyütme düzeyinde ortaya yeni bir şey çıkmaz: Uzayın dokusu hâlâ

üç boyutlu görünür (her zaman olduğu gibi bunu sayfa üzerinde iki boyutlu bir ızgara şeklinde gösteriyoruz). Ama şekildeki en yüksek büyütme düzeyi olan Planck ölçeğine indiğimizde, Klein yeni, kıvrılmış bir boyutun görünür hale geleceğini öne sürüyordu.



Şekil 12.6 Gergin halatın yüzeyi, her noktasında çembersel bir boyut tutturulmuş olan bir uzun boyuta sahiptir.



Şekil 12.7 Kaluza-Klein önerisi, çok küçük ölçeklerde uzayın, bildiğimiz her noktaya tutturulmuş olan, fazladan çembersel bir boyuta sahip olduğu şeklindedir.

Nasıl gergin halatın büyük, uzun boyutu boyunca her noktada çembersel boyutu da varsa, bu önerideki çembersel boyut da günlük yaşamın bilindik üç uzun boyutunun her noktasında vardır. Şekil 12.7'de bunu, uzun boyutların çeşitli noktalarında ek çembersel boyutlar çizerek gösteriyoruz (her noktada çember- sel boyutu gösterirsek şekil ortadan kaybolur). Şekil 12.6'daki gergin halatla olan benzerliği hemen fark edeceksiniz. Bu yüzden Klein'ın önerisinde uzay, her noktasına fazladan, çembersel bir boyut tutturulmuş olan üç bilindik boyuta sahip olarak düşünülmelidir (şekilde bu üç boyuttan ikisi gösterilmiştir). Çizimden kaynaklanan sınırlılıklar nedeniyle size öyle gibi geliyor olsa da, bu fazladan boyut, bilindik uzaysal üç boyutun içinde bir tümsek veya halka değildir. Fazladan boyut,

bildiğimiz üç boyutun tümüyle dışında olan yeni bir boyuttur. Bildiğimiz üç boyutlu uzayın her noktasında var olan bu boyut öylesine küçüktür ki, en güçlü araçlarla bile varlığı saptanamaz.

Kaluza'nın özgün fikrine yaptığı bu katkıyla Klein, nasıl uzayda hepimizin bildiği üç boyutun dışında, gizli kalmış bir boyut bulunabileceği sorusuna bir cevap bulmuş oldu ki, bu yapı o zamandan günümüze kadar Kaluza-Klein kuramı olarak biliniyor. Genel görelilikle elektromanyetizmayı birleştirmek için Kaluza'nın ihtiyacı olan tek şey, fazladan bir uzay boyutu olduğu için, Kaluza-Klein kuramı Einstein'ın tam aradığı şey gibi görünüyordu. Gerçekten Einstein ve başkaları bu gizli uzay boyutu üzerinden birleştirme konusunda çok heyecanlandılar ve bu yaklaşımın her ayrıntıda işleyip işlemeyeceğini sınamak üzere kollar sıvandı. Ama çok geçmeden Kaluza-Klein kuramı de kendi güçlükleriyle karşılaştı. Bunlardan en çok göze çarpan, elektronun bu fazladan-boyutlu resme yerleştirilmesinin mümkün olmamasıydı. Einstein, en azından 1940'ların başına kadar Kaluza-Klein yapısıyla oynamayı sürdürdü ama başlangıçtaki vaatler somutlaşmadığı için, kurama gösterilen ilgi zamanla azalarak yok oldu.

Ama yirmibeş-otuz yıl sonra Kaluza-Klein kuramı görülmeye değer bir geri dönüş yapacaktı.

Sicim Kuramı ve Gizli Boyutlar

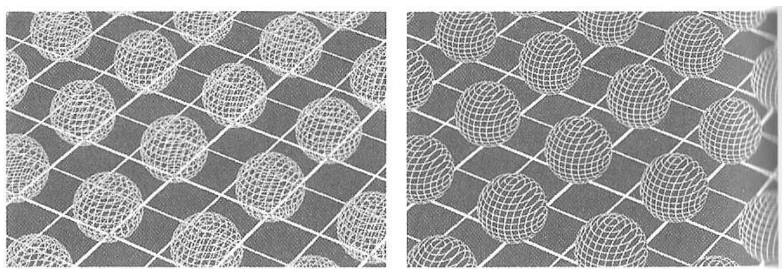
Kaluza-Klein kuramının mikro dünyayı tanımlamaya çalışırken karşılaştığı güçlüklere ek olarak, bilim insanlarının bu yaklaşıma karşı duraksamasının bir nedeni daha vardı. Birçokları gizli uzay boyutu varsaymanın hem keyfi, hem de aşırılık olduğunu düşünüyordu. Sanki Kaluza fazladan uzay boyutu fikrine sağlam ve tümdengelimli bir düşünüş zinciri sonunda ulaşmamış gibiydi. Sanki fikri şapkadan çıkarmış, sonuçlarını çözümlemeye çalışırken de genel görelilikle elektromanyetizma arasında beklenmedik bir bağ keşfetmişti. Bu yüzden her ne kadar büyük bir keşif olsa da, kaçınılmazlık duygusundan yoksundu. Eğer Kaluza ve Klein'a evrende neden dört veya altı veya yedi veya 7000 yerine yalnızca beş uzay-zaman boyutu olduğunu sormuş olsaydınız, verecekleri "Neden olmasın?" dan daha inandırıcı bir cevap yoktu.

Otuz yıldan daha uzun bir süre sonra, durum kökten değişti. Sicim kuramı genel görelilikle kuantum mekaniğini birleştirme yolundaki ilk yaklaşımdır; üstelik bütün kuvvetler ve bütün madde konusundaki kavrayışımızı birleştirme potansiyeline de sahiptir. Ama sicim kuramının kuantum mekaniğine özgü denklemleri ne dört uzay boyutunda işler, ne de beş, altı, yedi veya yedi bin. Gelecek alt bölümde inceleyeceğimiz nedenlerle sicim kuramının denklemleri yalnızca on uzay-zaman boyutunda işler; dokuz uzay boyutu artı zaman. Sicim kuramı daha fazla boyut talep eder.

Bu, fizik tarihinde daha önce hiç karşılaşılmamış olan, temelden farklı olan bir sonuçtur. Sicimlerin öncesinde hiçbir kuram evrendeki uzaysal boyutların sayısı hakkında hiçbir şey söylememişti. Nasıl yarın Güneş'in doğacağını varsayıyorsak, Newton'dan Maxwell'e ve Einstein'a kadar her kuram da uzayın üç boyutlu olduğunu varsaymıştı. Kaluza ve Klein dört uzay boyutu olduğunu ileri sürerek, köklü bir değişiklik önerdiler ama bu, bir başka varsayıma yol açtı; farklı bir varsayım ama sonuçta bir varsayım. Şimdi, ilk kez sicim kuramı uzay boyutlarının sayısını öngören denklemler getiriyordu. Sicim kuramına göre, uzay boyutlarının sayısı bir hesap -varsayım değil, hipotez değil, ilham yoluyla gelen bir tahmin hiç değil- ile belirlenir ve şaşırtıcı olan, hesaplanan sayının üç değil, dokuz olmasıdır. Sicim kuramı kaçınılmaz olarak altı fazladan uzay boyutuna sahip olan bir evrene yol açar ve böylece Kaluza ve Klein'in görüşlerini zorunlu olarak kullanmaya hazır bir ortam yaratır.

Kaluza ve Klein'in özgün önerisi yalnızca bir gizli boyut varsaymıştı ama bu, kolayca ikiye, üçe ve hatta sicim kuramının gerektirdiği altı fazladan boyuta kadar genelleştirilebilirdi. Örneğin, Şekil 12.8a'da, Şekil 12.7'deki tek-boyutlu bir şekil olan fazladan çembersel boyutu iki boyutlu bir şekil olan bir küre yüzeyi ile değiştiriyoruz (Bölüm 8'deki tartışmalardan, bir konumu belirlemek için iki parça bilgi gerektiği için -Dünya yüzeyindeki enlem ve boylam gibi- bir kürenin yüzeyinin iki boyutlu olduğunu hatırlayın). Her ne kadar Şekil 12.8a'da görüntünün açık olması için, yalnızca ızgara çizgilerinin kesiştiği noktalardakileri çizmiş olsak da, çemberde olduğu gibi, gözünüzde olağan boyutların her noktasına kürelerin tutturulmuş olduğunu canlandırmalısınız. Bu tür bir evrende, uzayda bir konumu belirlemek için beş parça bilgiye ihtiyaç duyarsınız: Büyük boyutlarda yerinizi belirlemek için üç parça bilgi (cadde, sokak ve kat no.) ve o noktaya tutturulmuş olan küre üzerindeki konumunuzu belirlemek için

iki parça bilgi daha (enlem, boylam). Elbette, eğer kürenin yarıçapı çok küçükse -bir atomdan milyarlarca kez daha küçük- göreceli olarak bizim gibi büyük varlıklar için son iki parça bilgi fazla önemli değildir. Yine de fazladan boyut uzay dokusundaki mikroskobik-ötesi yapının ayrılmaz bir parçasıdır. Doğru akşam yemeğine doğru zamanda katılabilmek için, mikroskobik bir solucanın bu beş parça bilginin hepsine ihtiyacı vardır.



Şekil 12.8 Üç bilindik boyutlu evrenin, ızgara ile temsil edilen yakın plan görüntüsü ve (a) içi boş küreler şeklinde iki kıvrılmış boyut ve (b) katı toplar şeklinde üç kıvrılmış boyut

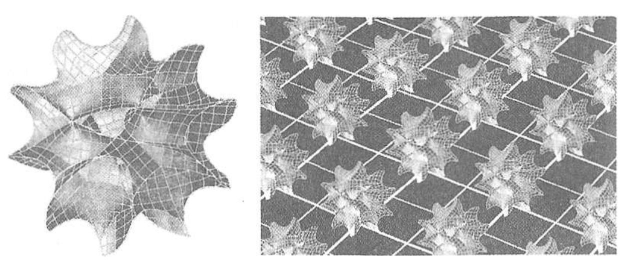
Bir boyut daha ilerleyelim. Şekil 12.8a'da kürelerin yalnızca yüzeylerini göz önüne aldık. Şimdi de uzayın yapısının aynı zamanda kürelerin içini de kapsadığını varsayın; tıpkı gerçek elma kurtlarının elmaların içine girdiği gibi Planck boyutundaki minik solucanımız da kürenin içine girebilir ve içeride serbestçe hareket edebilir. Solucanın konumunu belirlemek için artık altı parça bilgiye ihtiyaç duyarız: Bildiğimiz uzay boyutları için üç parça, o noktaya tutturulmuş kürenin içindeki konumu için üç parça daha (enlem, boylam ve girme derinliği). Bu nedenle zamanla birlikle bu, yedi uzay-zaman boyutuna sahip olan bir evren örneğidir.

Şimdi sıra büyük adıma geldi. Her ne kadar çizmek olanaksız olsa da, günlük yaşamımızın olağan üç uzun boyutunun her noktasında evrenin yalnızca Şekil 12.7'deki gibi bir değil, Şekil 12.8a'da olduğu gibi iki değil, Şekil 12.8b de olduğu gibi üç değil, tam altı fazladan uzay boyutuna sahip olduğunu varsayın. Bunu elbette gözümde canlandıramıyorum ve şimdiye kadar da canlandırabilen birine rastlamadım. Ama anlamı son derece açıktır. Böyle bir evrende Planck boyutunda bir solucanın uzaysal konumunu belirlemek için dokuz parça bilgi gerekir: Üçü bildiğimiz uzaysal boyutlardaki konumu belirlemek için, altısı da bu noktaya iliştirilmiş olan kıvrılmış boyutlardaki konumu belirlemek için. Zaman da göz önüne alındığında bu, sicim kuramının denklemlerinin gerektirdiği gibi, on uzay-

zaman boyutlu bir evrendir. Eğer fazladan altı boyut yeterince küçük olacak şekilde kıvrılmış iseler varlıkları kolayca belli olmaz.

Gizli Boyutların Şekli

Sicim kuramının denklemleri aslında uzaysal boyutların yalnızca sayısını belirlemekle kalmaz. Fazladan boyutların alabileceği şekillerin türlerini de belirler. Yukarıdaki şekillerde en basit şekiller -çemberler, içi boş küreler, katı toplar- üzerine odaklandık ama sicim kuramı denklemleri, Calabi-Yau şekilleri veya Calabi-Yau uzayları adı verilen, çok daha karmaşık, altı boyutlu şekilleri seçerler. Bu şekiller, sicim kuramı ile olan ilişkileri ortaya çıkmadan çok önceleri, onları matematiksel olarak keşfeden iki matematikçinin, Eugenio Calabi ve Shing-Tung Yau'nun adlarıyla bilinirler. Bunlardan birinin kaba bir örneği Şekil 12.9a'da görülüyor. Bunun altı boyutlu bir şeklin iki boyutlu bir çizimi olduğunu, bunun da önemli çarpılmalara neden olduğunu aklınızdan çıkarmayın. Bu durumda bile, bu resim, şekillerin neye benzediğine ilişkin iyi-kötü bir fikir veriyor. Eğer Şekil 12.9a'daki özel Calabi-Yau şekli sicim kuramındaki altı boyutu oluşturuyorsa, uzay mikroskobik-ötesi ölçeklerde Şekil 12.9b deki görüntüye sahip olacaktır. Calabi-Yau şekli, olağan üç boyutun her noktasına iliştirilmiş olacağı için bu, sizin, benim ve herkesin içinde ve çevresinde bu minik şekillerin bulunduğu anlamına geliyor. Bir yerden diğerine yürüdüğünüz zaman gövdeniz bu dokuz boyutun tamamında hareket eder, hızla ve sürekli bir biçimde bütün şeklin çevresinde dolanır ve ortalama olarak bu fazladan altı boyutta hiç hareket etmiyormuşsunuz gibi bir görüntü oluşturur.



Şekil 12.9 (a) Calabi-Yau şeklinin bir örneği (b) Minik Calabi-Yau şekilleri biçimindeki fazladan boyutları ile uzayın çok büyütülmüş bir parçası

Eğer bu görüşler doğru ise, uzayın mikroskobik-ötesi yapısı, dokuların en zengini ile nakış gibi işlenmiş demektir.

Sicim Fiziği ve Fazladan Boyutlar

Genel göreliliğin güzelliği, kütleçekiminin fiziğinin uzayın geometrisi tarafından denetlenmesidir. Doğal olarak, geometrinin fiziği belirleme gücünün sicim kuramı tarafından ortaya atılan fazladan uzaysal boyutlarla artacağını tahmin edersiniz. Artar da. Şimdi bunu, şu ana kadar hep göz ardı ettiğim bir soruyu ele alarak görelim. Sicim kuramı neden on uzay-zaman boyutu gerektirir? Bu, matematik dışında kalarak cevaplanması zor bir sorudur ama önce bunun geometri ile fizik arasındaki karşılıklı ilişkiye nasıl bağlı olduğunu açıklamaya çalışayım.

Yalnızca düz bir masanın üzerindeki iki boyutlu yüzeyde titrenecek şekilde sınırlanmış olan bir sicimi düşünün. Sicim, çeşitli titrenim desenleri sergileyebilecektir ama bunlar yalnızca masanın yüzeyinde sola/sağa ve ileri/geri yönlerindeki titrenimler olacaktır. Eğer sicim sonradan üçüncü boyutta da titrenebilecek şekilde serbest bırakılırsa, masanın yüzeyini terk ederek aşağı/yukarı hareket ederken, başka titrenim desenleri de sergileyebilir. Şimdi, her ne kadar üçten fazla boyutu gözde canlandırmak zor ise de, bu sonuç -yani ne kadar fazla boyut varsa o kadar fazla titrenim deseni olacağı- geneldir. Eğer bir sicim dördüncü uzaysal boyutta titrenebilirse, yalnızca üç boyutta sergileyebileceğinden daha fazla titrenim deseni sergileyebilir. Eğer bir sicim beşinci uzaysal boyutta da titrenebilirse, yalnızca dört boyutta sergileyebileceğinden daha fazla titrenim deseni sergileyebilir vb. Sicim kuramında bağımsız titrenim desenleri sayısının çok kesin bir zorlayıcı koşulu karşılamasını gerektiren bir denklem olduğu için, bu önemli bir kavrayıştır. Bu zorlayıcı koşul ihlal edilirse, sicim kuramının matematiği çöker ve denklemleri de anlamsız hale gelir. Uç uzay boyutuna sahip olan bir evrende titrenim desenlerinin sayısı çok az olup zorlayıcı koşullar karşılanamaz; dört uzay boyutuyla titrenim desenlerinin sayısı hâlâ çok azdır; beş, altı, yedi hatta sekiz boyut da hâlâ çok azdır; ama dokuz uzay boyutuyla titrenim desenleri üzerindeki zorlayıcı koşullar mükemmel bir biçimde karşılanır. Sicim kuramının uzay boyutlarının sayısını belirleme yöntemi işte budur. *19 Böylece geometri ve fizik arasındaki karşılıklı

etkileşim gösterildiyse de sicim kuramındaki birliktelikleri dahil da ileri gider ve aslında, daha önce karşılaştığımız kritik bir sorunu ele almak için bir yol sunar. Sicim titrenim desenleri ve bilinen parçacık türleri arasındaki ayrıntılı teması açıklamakta fizikçilerin sorunu olduğunu hatırlayın. Fizikçiler çok fazla sayıda kütlesiz sicim titrenim deseni olduğunu, üstelik titrenim desenlerinin ayrıntılı özelliklerinin bilinen madde ve kuvvet parçacıklarının özellikleriyle uyuşmadığını buldular. Ama henüz fazladan boyutlar fikrini incelememiş olduğumuz için önceden söz etmediğim şey, her ne kadar hesaplar fazladan boyutların sayısını göz önüne alıyorsa da (neden bu kadar çok sayıda sicim titrenim deseni bulunduğunu kısmen açıklayarak), bu fazladan boyutların küçük boyutlarını ve karmaşık şekillerini göz önüne almaz -hesaplarda bütün uzay boyutlarının düz ve kıvrılmamış olduğu varsayılır- ve bu da hatırı sayılır bir fark yaratır.

Sicimler o kadar küçüktür ki, fazladan altı boyut da bir Calabi- Yau şeklinin içine hapsedilmiş olsa bile, sicimler gene de o yönlere doğru titrenirler. İki nedenden ötürü bu son derece önemlidir. Birincisi, sicimlerin her zaman dokuz uzay boyutunun tümünde titrenmesini sağlar ve böylece, fazladan boyutlar çok sıkı bir şekilde kıvrılmış olsalar bile, titrenim desenlerinin sayısı üzerindeki zorlayıcı koşul, yerine getirilmeye devam eder. İkincisi, tıpkı bir tubaya üflenen havanın oluşturduğu titrenim desenlerinin enstrümanın kıvrımlarından etkilenmesi gibi, sicimlerin titrenim desenleri de, fazladan altı boyutun kıvrımları tarafından etkilenir. Eğer havanın geçtiği bir kanalı daraltarak ya da bir odacığı genişleterek tubanın şeklini değiştirirseniz, havanın oluşturduğu titrenim desenleri ve dolayısı ile enstrümanın sesi değişir. Benzer biçimde, eğer fazladan boyutların şekli ve ölçüleri değiştirilirse, sicimin her olası titrenim deseni de önemli ölçüde etkilenir. Sicimin titrenim deseni onun kütlesini ve elektrik yükünü belirlediği için, bu, fazladan boyutların parçacık özelliklerinin belirlenmesinde çok önemli rolü olduğu anlamına gelir.

Bu, kilit bir kavrayıştır. Fazladan boyutların kesin ölçüleri ve şekillerinin, sicim titrenim desenleri ve dolayısı ile parçacık özellikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. Evrenin temel yapısı -galaksi ve yıldızların oluşumundan bildiğimiz yaşamın varlığına kadar- çok hassas bir şekilde parçacık özelliklerine bağlı olduğu için, evrenin kodlan Calabi-Yau şeklinin geometrisinin içine yazılmış olabilir.

Calabi-Yau şeklinin bir örneğini Şekil 12.9'da gördük ama en azından yüz binlerce başka olasılık da var. O zaman soru, eğer doğru ise, hangi Calabi-

Yau şeklinin, uzay-zamanın dokusunun fazladan-boyutlu kısmını oluşturduğudur. Sicim titrenim desenlerinin ayrıntılı özellikleri yalnızca belirli bir Calabi-Yau şekli seçimiyle belirlendiği için bu, sicim kuramının karşı karşıya kaldığı en önemli sorulardan biridir. Şimdiye kadar bu soru cevapsız kaldı. Bunun nedeni, sicim kuramı denklemlerinin çağdaş kavranış biçiminin birçokları arasından hangisinin seçileceği yolunda bir fikir vermemesidir; bilinen denklemlere göre her Calabi-Yau şekli, herhangi bir başkası kadar geçerlidir. Denklemler fazladan boyutların ölçülerini bile belirlemezler. Fazladan boyutları görmediğimize göre, küçük olmalılar, ama ne kadar küçük oldukları sorusu hâlâ cevaplanmamıştır.

Bu, sicim kuramının ölümcül bir eksikliği midir? Olabilir. Ama ben öyle düşünmüyorum. Gelecek bölümde daha ayrıntılı işleyeceğimiz gibi, sicim kuramının kesin denklemleri, yıllar boyunca kuramcıların aklına gelmemiştir ve çok sayıda çalışmada yaklaşık denklemler kullanılmıştır. Bunlar sicim kuramının pek çok özelliğine ışık tutmuş olmakla birlikte -ki bunların arasında fazladan boyutların tam ölçüleri ve şekilleri de vardır- bazı sorulara yaklaşık denklemler cevap veremez. Matematiksel çözümlememizi keskinleştirdiğimiz ve bu yaklaşık denklemleri geliştirdiğimiz sürece, fazladan boyutların şeklini belirlemek, en önde gelen -ve benim düşünceme göre erişilebilir- amaçtır. Şimdiye kadar bu amaç, erişimin ötesinde kalmıştır.

Yine de Calabi-Yau şekillerinden herhangi birinin seçilmesinin, bilinen parçacıkları yaklaşık olarak üreten titrenim desenlerine yol açıp açmayacağını hâlâ sorabiliriz. Cevap da oldukça sevindiricidir.

Her ne kadar her olasılığı araştırmış olmaktan çok uzak olsak da, Calabi-Yau şekillerinin örneklerinin, Tablo 12.1 ve 12.2 ile kabaca uyuşan sicim titrenim desenlerine yol açtığı bulunmuştur. Örneğin 1980'lerin ortalarında, Philip Candelas, Gary Horowitz, Andrew Strominger ve Edward Witten (Calabi-Yau şekillerinin sicim kuramı ile olan ilişkisini fark eden fizikçiler ekibi), Calabi-Yau şekillerinin içinde bulunan her deliğin -bu terim matematiksel olarak kesin bir şekilde tanımlanan anlamıyla kullanılmıştır- bir en düşük enerjili sicim titrenim desenleri ailesine yol açtığını keşfettiler. Üç delikli bir Calabi-Yau şekli, bu yüzden, Tablo 12.1'deki temel parçacıkların üç aileli, tekrarlayan yapısına bir açıklama getirir. Gerçekten, böyle bazı üç delikli Calabi-Yau şekilleri bulundu. Üstelik, bu tercihli Calabi-Yau şekilleri arasında Tablo 12.1 ve 12.2'deki doğru sayıda haberci

parçacıklarına ve parçacıklarla uyuşan, doğru elektrik yükü ve nükleer kuvvet özelliklerine yol açan şekiller de vardır.

Bu, son derece cesaret verici bir sonuçtur; hiçbir şekilde böyle olması sağlanmaya çalışılmamıştır. Genel görelilik ve kuantum mekaniğini birleştirirken sicim kuramı bilinen madde ve kuvvet parçacıklarını açıklamak gibi önemli bir amaca ulaşmanın yanına bile yaklaşamayacağım gösteren bir başka amaca ulaşmış olabilir. Araştırmacılar, kuramın düş kırıklığı yaratan olasılıktan uzaklaşmasının yolunun bulunmasından cesaretlendiler. Daha ileri giderek parçacıkların kesin kütlelerini hesaplamak daha zor ve heyecan vericiydi. incelediğimiz gibi, Tablo 12.1 ve 12.2'deki parçacıkların kütleleri, en düşük enerjili sicim titrenimlerinden -sıfır kere Planck kütlesi- milyon kere milyarda bir farklıdır. Bu kadar küçük farkları hesaplamak, şu andaki sicim kuramı denklemlerini kavrayışımızın çok ötesinde bir kesinlik düzeyi gerektirir.

Aslında, tıpkı diğer birçok sicim kuramcısı gibi ben de Tablo 12.1 ve 12.2'deki minik kütlelerin sicim kuramında tıpkı standart modeldeki gibi ortaya çıktıklarından kuşkulanıyorum. Bölüm 9'dan, standart modelde bir Higgs alanının bütün uzayda sıfırdan farklı değer aldığını ve bir parçacığın kütlesinin, Higgs okyanusunda hareket ederken ne kadar dirençle karşılaştığı ile orantılı olduğunu hatırlayın. Büyük olasılıkla benzer bir senaryo sicim kuramına da uygulanır. Eğer büyük sayıda sicim hep birlikte uzayda eşgüdümlü bir şekilde titrenirse, pek çok bakımdan bir Higgs okyanusundan ayırt edilemeyecek, birörnek bir arka plan oluşturabilir. Bu durumda başlangıçta sıfır kütleye yol açan sicim titrenimleri, Higgs okyanusunun sicim kuramındaki karşılığının içinde hareket eder ve titrenirken etkisi altında kaldıkları direnç yoluyla minik, sıfırdan farklı kütleler edinebilirler.

Ama dikkat edilirse, standart modelde verilen parçacığın etkisi altında kaldığı direnç kuvveti -ve dolayısı ile edindiği kütle- deneysel ölçümle belirlenir ve kuramda girdi olarak belirtilir. Sicim kuramı versiyonunda direnç kuvveti -ve dolayısı ile titrenim desenlerinin kütleleri- sicimler arasındaki etkileşmelerden kaynaklanır (Higgs okyanusu sicimlerden yapılmış olacağı için) ve hesaplanabilir olmalıdır. Sicim kuramı, en azından ilke olarak, bütün parçacık özelliklerinin kuramın kendisi tarafından belirlenmesine izin verir.

Şimdiye kadar bunu kimse başaramadı ama vurgulandığı gibi, sicim kuramı hâlâ gelişme halindedir. Araştırmacılar, zamanla, birleştirme yolunda çok büyük potansiyeli olan bu yaklaşımı tam anlamıyla gerçekleştirebilmeyi umuyorlar. Potansiyel ödül büyük olduğu için güdü de güçlüdür. Sıkı çalışma ve biraz da şansın yardımıyla sicim kuramı günün birinde temel parçacık özelliklerini ve sonuçta de evrenin neden böyle olduğunu açıklayabilir.

Sicim Kuramına Göre Evrenin Dokusu

Sicim kuramına ilişkin çoğu şey hâlâ algılamamızın sınırlarının ötesinde olsa da, şimdiden yeni, dramatik bakış noktaları ortaya koymuştur. En çarpıcı olanı, genel görelilik ve kuantum mekaniği arasındaki çatlağı tamir etmeye çalışırken sicim kuramının, uzayın dokusunun, doğrudan algılayabildiklerimizin ötesinde çok daha fazla sayıda boyutu -evrenin en derin sırlarının bazılarını çözmekte kilit rol oynayabilecek olan boyutlar- olabileceğini ortaya koymuş olmasıdır. Üstelik kuram bildiğimiz uzay ve zaman kavramlarının Planck-altı ortama kadar uzanmadığını da bildirir ki bu da şimdi kavradığımız biçimiyle uzay ve zamanın, yalnızca hâlâ onları keşfetmemizi bekleyen çok daha temel kavramların yaklaştırımlar! olduğu anlamına gelir.

Evrenin ilk anlarında, uzay-zamanın dokusunun bugün yalnızca matematiksel olarak erişilebilen özellikleri apaçık ortada olmuş olmalı. Erken dönemlerde, bildiğimiz üç uzay boyutu da henüz küçükken, sicim kuramında şimdi bizim büyük veya kıvrılmış dediğimiz boyutlar arasında büyük olasılıkla hiçbir fark yoktu. Bu boyutların şimdiki ölçü eşitsizliği, henüz anlamadığımız bir nedenle uzay boyutlarından üç tanesini özel olarak seçen ve onları 14 milyar yıl boyunca, geçtiğimiz bölümlerde incelediğimiz genişlemeye maruz bırakan kozmolojik evrimden kaynaklanmış olmalı. Zamanda daha da geriye bakacak olursak, bütün gözlenebilir evren Planck-altı bir alana kadar büzülür, öyle ki, (Şekil 10.6'da) bulanık bölge olarak adlandırdığımız şeyi şimdi bildiğimiz uzay ve zamanın, çağdaş araştırmaların anlamaya çalıştığı çok daha temel varlıklardan -her ne iseler- doğduğu yer olarak tanımlayabiliriz.

İlkel evreni anlamaya yönelik ilerlemeler ve dolayısı ile uzayın, zamanın ve zamanın okunun değerlendirilmesi -ki bu yakın zamana kadar asil ama

uzak görünen bir amaçtı- sicim kuramını anlamak için kullandığımız kuramsal aletleri iyice bilememizi gerektirir. Şimdi göreceğimiz gibi, M-kuramının geliştirilmesiyle ilerleme, iyimserlerin en iyimser öngörülerini bile aşmıştır.

XIII. Bölüm - Zar Üzerindeki Evren

M-Kuramında Uzay ve Zaman Üzerine Spekülasyonlar

Sicim kuramı bütün bilimsel atılımlar içinde en dönemeçli tarihe sahip olanlardan biridir. İlk ortaya atılmasından otuz yıldan fazla bir süre geçtikten sonra bugün bile, sicim kuramını savunanların çoğunluğu, "sicim kuramı nedir? "temel sorusunun hâlâ kapsamlı bir cevabı olmadığına inanıyorlar. Sicim kuramı hakkında pek çok şey biliyoruz. Temel özelliklerini biliyoruz, kilit önemde başarılarını biliyoruz, vaatlerini biliyoruz, karşı karşıya olduğu zorlukları biliyoruz. Sicim kuramının denklemlerini kullanarak çok çeşitli durumlarda sicimlerin nasıl davranmaları ve etkileşmeleri gerektiğini ayrıntılı olarak hesaplayabiliriz. Ama çoğu araştırmacı sicim kuramının günümüzdeki formülleştirilmesinin, diğer birçok önemli ilerlemenin kalbinde yer aldığını gördüğümüz temel bir ilkeden yoksun olduğunu hissediyor. Özel görelilikte ışık hızının sabitliği var. Genel görelilikse eşdeğerlik ilkesine sahip. Kuantum mekaniğinde belirsizlik ilkesi var. Sicim kuramcılarıysa, kuramın özünü benzer bütünlükte ifade edebilecek, benzer bir ilkeyi hâlâ el yordamıyla aramaya devam ediyorlar.

Bu eksikliğin kökeninde, geniş ölçüde sicim kuramının büyük, bütünlüğe sahip olan bir görüşten kaynaklanmaması, parça parça gelişmesi vardır. Sicim kuramının amacı -tüm kuvvetleri ve tüm maddeyi kuantum mekaniğine özgü bir yapı altında birleştirmek- yeterince büyük olmakla birlikte, kuramın gelişimi açık bir şekilde bölük pörçük olmuştur. Otuz yıldan daha uzun bir zaman önceki keşfinden sonra, sicim kuramı, bir grup kuramcının bu denklemleri inceleyerek kilit özelliklerini açığa çıkarması, bir başka grubun ise bunları inceleyerek kritik anlamları ortaya çıkarmasıyla, parça parça bir araya getirilmiştir.

Sicim kuramcıları, yere gömülü olan ve ayaklarına takılan bir uzay aracını kazarak ortaya çıkarmaya çalışan ilkel bir kabilenin üyelerine benzetilebilir. Kabile, acemice ve deneyip-yanılarak uzay aracının işleyişinin özelliklerini ortaya çıkarır ve bu da bütün düğmelerin ve kolların

eşgüdümlü ve birleşik bir şekilde bir arada çalıştığı duygusunu besler. Sicim kuramcıları arasında da benzer bir duygu hâkimdir. Yıllar süren araştırmaların sonuçları birbirine uymakta ve bir noktaya yönelmektedir. Bu, araştırmacılara, sicim kuramının henüz tam olarak ortaya çıkarılmamış ama sonunda doğanın işleyişini eşsiz bir berraklık ve anlaşılırlık- la ortaya koyacak olan güçlü, tutarlı bir yapı oluşturmakta olduğu yolunda giderek artan bir özgüven aşılamıştır.

Hiçbir şey bunu son zamanlarda ikinci süpersicim devrimini başlatan kavrayıştan daha iyi gösteremez. Bu devrim, diğerlerinin yanı sıra, uzayın dokusuna işlemiş olan bir diğer gizli boyutu ortaya çıkarmış, sicim kuramının deneysel olarak sınanması için yeni olasılıklar ortaya koymuş, bizim evrenimizin diğerleri ile yan yana olabileceğini önermiş, yeni kuşak yüksek enerji hızlandırıcılarında kara deliklerin oluşturulabileceğini göstermiş, zamanın ve onun okunun tıpkı Satürn'ün güzel halkaları gibi tekrar tekrar kıvrılmakta olabilecekleri yepyeni bir kozmoloji kuramına yol açmıştır.

İkinci Süpersicim Devrimi

Sicim kuramı ile ilgili, henüz açıklamadığım, ama Evrenin Zarafeti adlı kitabımı okuyanların hatırlayabileceği, sorunlu bir ayrıntı daha vardır. Geçtiğimiz otuz yıl süresince sicim kuramının bir değil tam beş farklı çeşitlemesi geliştirilmiştir. Önemli olmamakla birlikte adları Tür-I, Tür-IIA, Tür-IIB, Heterotik-O ve Heterotik-E'dir. Tümü, önceki bölümde anlatılan temel özellikleri paylaşırlar -temel bileşenler titreşen enerji iplikçikleridir- ve 1970'lerdeki ve 1980'lerdeki hesaplamaların ortaya koyduğu gibi, her kuram fazladan altı uzay boyutu gerektirir; ama bu kuramlar ayrıntılı olarak çözümlendikleri zaman önemli farklar ortaya çıkar. Örneğin, Tür-I kuramı, kapak sicimler adı verilen ve son bölümde tanımlanan titreşen sicim halkalarını içerir, ama diğer sicim kuramlarından farklı olarak, aynı zamanda iki ucu da açık titreşen sicimler olan açık sicimleri de kapsar. Üstelik hesaplar sicim titreşim desenlerinin ve her desenin diğerleriyle etkileşme, onları etkileme biçiminin bir formülleştirmeden diğerine farklı olduğunu gösteriyor.

Sicim kuramcılarının en iyimser olanları, bu farkların, bu kuramları günün birinde gerçekleştirilebilecek olan deneylerin sonuçları ile ayrıntılı

bir şekilde karşılaştırarak beş kuramın bire indirilmesine yardımcı olacağını düşünüyorlardı. Ama dürüst olmak gerekirse, sicim kuramının beş ayrı formülleştirmesinin bulunması bile başlı başına bir rahatsızlık kaynağıydı. Birleştirme rüyası, bilim insanlarının tek bir evren kuramına yönlendikleri bir rüyadır. Eğer araştırmalar yalnız bir kuramsal yapının hem kuantum mekaniği, hem de genel göreliliği kapsadığını ortaya koyarsa, kuramcılar birleştirmenin nirvanasına ulaşmış olacaklardır. Doğrudan deneysel doğrulama olmasa bile, yapının geçerliliği konusunda güçlü bir durumda bulunacaklardır. Nereden baksanız, hem kuantum mekaniği hem de genel görelilik konularında deneysel destek zaten bol miktarda vardır ve evreni yöneten yasaların birbirleriyle bağdaşması gerektiği gün gibi ortadadır. Eğer bir kuram yirminci yüzyıl fiziğinin deneysel olarak doğrulanmış iki dev sütununu birleştiren tek ve matematiksel olarak tutarlı bir yapı ise, bu, kuramın kaçınılmazlığı konusunda doğrudan olmasa da güçlü bir kanıt olacaktır.

Fakat sicim kuramının yüzeysel olarak birbirine benzeyen ama ayrıntılarda farklı olan beş çeşitlemesinin olduğu gerçeği, sicim kuramının tek olma sınavında başarısız olacağı anlamına geliyor gibi görünmektedir. İyimserler günün birinde haklı çıksa ve beş sicim kuramından yalnızca biri deneysel olarak kanıtlansa bile neden dört tane daha tutarlı formülleştirme olduğu sorusu tedirgin edicidir. Diğerleri yalnızca matematiksel merak mıdır? Fiziksel dünya için bir önemleri var mıdır? Varlıkları, sonradan zeki bilim insanlarının aslında sicim teması üzerinde beş, altı, yedi veya belki de sonsuz sayıda matematiksel çeşitlemenin olduğunu gösterecekleri kuramsal bir buzdağının suyun üzerinde görünen ucu olabilir mi?

1980'lerin sonunda ve 1990'ların başında birçok fizikçi, sicim kuramlarından biri veya diğerini anlamak için sıkı bir çalışma içindeyken beş çeşitleme muamması, araştırmacıların üzerinde gündelik olarak çalıştıkları bir problem değildi. Herkesin her sicim kuramı kavrayışının daha rafine olacağı uzak bir gelecekte yüzleşeceğini bildiği o sessiz sorulardan biriydi.

Ama 1995 baharında, neredeyse hiçbir uyarı olmadan, bu mütevazı umutlar fırtınalı bir şekilde aşıldı. Bazı sicim kuramcılarının (aralarında Chris Hull, Paul Townsend, Ashoke Sen, Michael Duff, John Schwarz ve başka birçokları olmak üzere) çalışmalarından sonuç çıkaran -ve yirmi yıldır dünyanın en ünlü sicim kuramcısı olan- Edward Witten, beş sicim kuramını birbirine bağlayan gizli uyumu ortaya çıkardı. Witten beş kuramın

birbirinden farklı olmadığını, tek bir kuramın beş ayrı matematiksel çözümleme yolu olduğunu gösterdi. Nasıl tek dil bilen bir okuyucuya bir kitabın beş ayrı dildeki çevirileri beş ayrı metin gibi görünürse, beş ayrı sicim formülleştirmesi de henüz Witten onları birbirine çevirecek bir sözlük yazmamış olduğu için farklı görünüyordu. Ama bir kere ortaya çıkınca, sözlük inandırıcı bir şekilde -tıpkı beş ayrı çevirinin yapıldığı ana metin gibi- ana kuramın beş sicim formülleştirmesinin de birbirleriyle bağlantılı olduğunu ortaya koydu. Birleştirici ana kurama geçici olarak M-kuramı adı verildi. M burada Master, Majestic, Mother, Magic, Mystery, Matrix kelimelerinden herhangi birinin anlamına geliyor olabilir. M-kuramı, Witten'in güçlü önsezileriyle aydınlanan yeni görüntüsüyle dünya çapında başlamış olan yoğun araştırmalarla tamamlanmayı bekliyor.

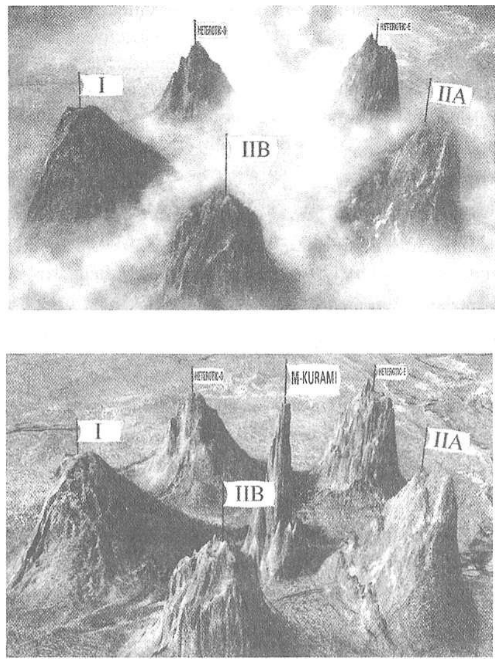
Bu devrimci keşif, ileriye doğru atılmış büyük ve sevindirici bir adımdı. Witten, bu alanda en çok ödülü alan makalesinde (ve Petr Horava'nın önemli tamamlayıcı çalışmasıyla) sicim kuramının tek bir kuram olduğunu gösterdi. Artık sicim kuramcıları, Einstein'ın bulmaya çalıştığı birleşik kuram için önerdikleri adaylarının niteliklerini belirtirken hafif bir rahatsızlıkla, önerilen birleşik yapının tek olmadığını, beş değişik çeşitlemesi olduğundan söz etmek zorunda değillerdi. Tersine, birleşik bir kuram için uzak-erişimli bir önerinin nasıl uyacağı bir yarı-birleştirmenin konusuydu. Witten'in çalışması aracılığıyla her sicim kuramında somutlaşan birlik, bütünsel bir sicim yapılanmasına genişlemiştir.

Şekil 13.1 'de beş sicim kuramının durumu, Witten'in keşfinden önce ve sonra olmak üzere, özetlenmiştir. Şekil, M-kuramının kendiliğinden, yeni bir yaklaşım olmadığını, bulutların dağılmasını sağlayarak, fizik yasalarının, sicim kuramlarından herhangi birinin sağladığından çok daha duru ve tam bir formülleştirilmesini vadettiğini gösteriyor. M-kuramı, her birinin daha büyük bir sentezin parçaları olduğunu göstererek, beş sicim kuramını de kapsar ve birbirine bağlar.

Çevirinin Gücü

Her ne kadar Şekil 13.1 şematik olarak Witten'in keşfinin temel içeriğini veriyorsa da, bu şekilde ifade edilmesi size biraz çarpıcı gelebilir. Witten'in atılımından önce, araştırmacılar sicim kuramının beş farklı çeşitlemesi olduğunu düşünüyorlardı; onun keşfinden sonra ise artık böyle

düşünmüyorlardı. Ama eğer birbirlerinden anlam olarak farklı beş ayrı sicim kuramı olduğunu bilmiyor olsaydınız, sicim kuramcılarının en zeki olanının bu kuramların aslında birbirlerinden farklı olmadıklarını göstermesini neden önemseyecektiniz ki? Soru şöyle de sorulabilir: Witten'in keşfi neden daha önceki bir yanlış anlamayı düzelten basit bir düzeltme değil de devrimci bir keşiftir?



Şekil 13.1 (a) 1995'ten önce beş sicim kuramının şematik görüntüsü (b) M-kuramı tarafından ortaya konan yarı-birleştirmenin şematik görüntüsü

Nedeni şu. Geçtiğimiz yirmi beş-otuz yıl boyunca fizikçiler sürekli olarak bir matematik problemi tarafından engellenmişlerdi. Bu beş sicim kuramından herhangi birini tanımlayan kesin denklemlerin çıkarılması ve çözümlenmesinin çok güç olduğunun görülmüş olması nedeniyle, kuramcılar araştırmalarını çok daha kolay olan yaklaşık denklemlere dayandırmışlardı. Yaklaşık denklemlerin, pek çok koşulda, tam denklemlere yakın sonuçlar verdiğine inanmamız için iyi nedenler varsa da, yaklaştırımlar -tıpkı çeviriler gibi- her zaman bazı bakımlardan eksik kalırlar. Bu nedenle, bazı kilit problemlerin yaklaşık denklemlerle matematiksel olarak çözülemeyeceği görüldü, bu da ilerlemeyi önemli ölçüde yavaşlattı.

Metin çevirilerinde çoğu kez görülen anlam kaymaları için okuyucuların anında devreye giren bazı çareleri vardır. En iyi seçenek, eğer okuyucunun yabancı dil düzeyi uygunsa, özgün metne başvurmaktır. Şu anda sicim kuramcıları bu yöntemin bir benzerine sahip değiller. Witten ve diğerleri tarafından geliştirilen sözlüğün tutarlılığı nedeniyle, beş farklı sicim kuramının tümünün bir ana kuramın, M-kuramının farklı tanımları olduğu yolunda güçlü kanıtlarımız olmasına rağmen henüz araştırmacılar bu kuramsal bağ konusunda bütünsel bir kavrayış geliştirmediler. Son birkaç yılda M-kuramı konusunda çok şey öğrendik ama konunun uygun biçimde ve tam olarak kavrandığını öne sürebilmek için hâlâ yapılması gereken çok şey var. Sicim kuramında, sanki henüz ortada olmayan bir metnin beş ayrı çevirisine sahip gibiyiz.

Özgün metne sahip olmayan (sicim kuramında olduğu gibi) ve metnin yazıldığı dili de bilmeyen çeviri okuyucularının da iyi bildiği gibi, bir başka çare, metnin onların bildiği dillere yapılan çevirilerine başvurmaktır. Çevirilerin aynı anlama gelen paragrafları güven verir; farklı anlama gelen paragraflarsa anlam kaymaları veya çeviride farklılıkları gösterir, işte Witten'in beş sicim kuramının aynı ana kuramın farklı çevirileri olduğunu keşfetmesinin ortaya koyduğu yaklaşım budur. Gerçekten de Witten'in keşfi, en iyi çeviri benzetmesiyle anlaşılabilecek olan bu yaklaşımın iyi bir örneğini sergilemiştir.

Ana metnin çeşitli kelime oyunlarıyla, kafiyelerle, olağandışı ve kültüre bağlı şakalarla dolu olduğu için metnin tamamının, çevrildiği beş dilden hiçbirinde zarif bir biçimde ifade edilemediğini varsayın. Bazı paragraflar kolayca Swahili diline çevrilebilirken başka bazı paragraflara bu dille hâkim olmak olanaksız olabilir. Bu paragraflardan bazılarını Inuit diline çevirmek fikir verici olabileceği halde bazıları hiçbir anlam ifade etmeyebilir. Bazı zor pasajların anlamı Sanskrit diliyle yakalanabilirken, beş çeviride de hiçbir anlam ifade etmeyen özellikle problemli olan bazı bölümler de yalnızca ana metinde anlamlı olabilir. Beş sicim kuramı ile ilgili durum buna çok yakındır. Kuramcılar bazı özel sorular karşısında beş kuramdan dördü matematiksel olarak yararlı olamayacak kadar karmaşık iken, birinin fiziksel sonuçların açık ve saydam tanımını verebileceğini bulmuşlardır. Witten'ın keşfinin gücü de işte buradadır. Onun atılımının öncesinde kolayca kontrol edemeyecekleri kadar zor denklemlerle karşılaşan sicim kuramı araştırmacıları yolda kalırlardı. Ama Witten'in çalışması, böylesi her sorunun dört matematiksel çevirisinin -dört

matematiksel yeniden formülleştirmesi- olduğunu ve bazen bu yeniden formülleştirilen sorulardan birinin, diğerlerinden çok daha kolay cevaplandırılabildiğini gösterdi. Bu yüzden, beş kuramı birbirine çevirmekte kullanılan sözlük bazen olanaksız derecede zor soruları göreceli olarak dahil kolay sorulara çevirmek için bir yol ortaya koyabilir.

Ama kusursuz da değildir. Nasıl ana metindeki bazı pasajların beş dilin tümündeki çevirileri aynı derecede anlamsız olabiliyorsa, bazen beş sicim kuramındaki matematiksel tanımlar da aynı derecede anlaşılması zor olabilir. Böyle durumlarda tıpkı özgün metnin kendisine başvurduğumuz gibi, ilerleme kaydetmek için, ele geçmesi zor M-kuramını tam olarak anlamamız gerekli olur. Yine de, çoğu durumda Witten'in sözlüğü sicim kuramını çözümlemek için güçlü bir araç sağlar.

Bu nedenle, nasıl karmaşık bir metnin her çevirisi önemli bir amaca hizmet ediyorsa, her sicim formülleştirmesi de öyledir. Her perspektiften kazanılan görüşleri birleştirerek soruları cevaplayabilir ve tek bir sicim formülleştirmesinin erişiminin tümüyle uzağında olan özellikleri ortaya çıkarabiliriz. Böylelikle, Witten'in keşfi, sicim kuramının cephesini ilerletmek isteyen kuramcılara beş kat ateş gücü vermiştir. Bir devrim başlatmasının nedeni, büyük ölçüde budur.

On Bir Boyut

Öyleyse, sicim kuramını çözümlemek için yeni kazandığımız gücün ışığında ortaya çıkmış olan yeni fikirler nelerdir? Aslında çok fikir var. Ama ben yalnızca uzay ve zamanın öyküsünde en büyük etkisi olanlara odaklanacağım.

En önemlisi, Witten'in çalışmasının 1970'ler ve 1890'lerde kullanılan sicim kuramının yaklaşık denklemlerinin, evrende dokuz uzay boyutu bulunması gerektiği sonucuna varırken gerçek boyut sayısını bir eksik bırakmış olduklarıdır. Witten'in çözümlemesi, M-kuramına göre evrenin on uzay boyutu, yani on bir uzay zaman boyutu olduğunu gösterdi. Nasıl Kaluza beş uzay zaman boyutlu evrenin, elektromanyetizma ve kütleçekimini birleştirebilecek bir yapı ortaya koyduğunu bulduysa ve nasıl sicim kuramcıları on uzay zaman boyutlu evrenin kuantum mekaniği ve genel göreliliği birleştirebilecek bir yapı olduğunu gösterdilerse, Witten da

on bir uzay zaman boyutuna sahip bir evrenin bütün sicim kuramlarını birleştirebilecek bir yapı ortaya koyduğunu buldu. Tıpkı yer düzeyinden bakıldığında birbirlerinden tümüyle ayrı gibi görünen beş köyün, bir tepeden bakıldığında -yani dikey doğrultuda yeni bir boyut işin içine girdiğinde- patikalar ve yollarla birbirine bağlı olduğunun görülmesi gibi, Witten'in çözümlemesinden çıkan fazladan uzay boyutunun da, beş sicim kuramının tümünün aralarındaki bağlantıyı göstermekte yaşamsal önemi vardı.

Witten'in keşfi, daha fazla boyut üzerinden birliği sağlamak açısından tarihsel bir desene uymuş ise de, bulduğu sonucu 1995'teki yıllık uluslararası sicim kuramı konferansında açıkladığı zaman, bu alanı temelinden salladı. Benim de aralarında olduğum araştırmacılar, kullanılan yaklaşık denklemler üzerinde uzun uzun ve ayrıntılı olarak düşünmüşlerdi ve herkes çözümlemelerin boyutların sayısı hakkında son sözü söylemiş olduğundan emindi. Ama Witten şaşırtıcı bir şey bulmuştu.

Witten, bütün önceki çözümlemelerin, şimdiye kadar bilinmeyen onuncu uzay boyutunun son derece küçük, bütün diğerlerinden çok daha küçük olduğunu varsaymaya eşdeğer bir matematiksel basitleştirme yaptığını göstermişti. Gerçekten o kadar küçük ki, bütün araştırmacıların kullandığı sicim kuramının yaklaşık denklemleri, bu boyutun varlığının matematiksel ipuçlarını ortaya koyacak çözümleme gücünden yoksundu. Bu da, herkesin sicim kuramında yalnızca dokuz uzay boyutu olduğu sonucuna varmalarına yol açmıştı. Ama birleşik M-kuramı yapısının kazandırdığı yeni kavrayışla Witten yaklaşık denklemlerin ötesine geçebilmiş, daha derine inebilmiş ve bir uzay boyutunun sürekli olarak gözden kaçırıldığını anlamıştı. Böylece Witten, sicim kuramcılarının on yıldır geliştirmiş olduğu, on boyutlu beş yapının da, aslında onbir-boyutlu tek bir ana kuramın beş yaklaşık tanımı olduğunu göstermişti.

Bu beklenmedik kavrayışın sicim kuramındaki daha önceki çalışmaları geçersiz kılıp kılmadığını merak ediyor olabilirsiniz. Büyük ölçüde, geçersiz kılmadı. Yeni bulunan onuncu uzay boyutu kurama beklenmedik bir özellik kattı, ama eğer sicim/M kuramı doğru ise ve onuncu boyutun da diğerlerinden çok daha küçük olduğu ortaya çıkarsa -uzun bir süre boyunca farkında olmadan varsayıldığı gibi- önceki çalışmalar geçerli kalacaktır. Yine de bilinen denklemler fazladan boyutların büyüklüğünü veya şeklini tam olarak belirleyemedikleri için, sicim kuramcıları son birkaç yıldır yeni bir -o kadar da küçük olmayan- onuncu uzay boyutu olasılığını araştırma

yolunda çok çaba harcadılar. Diğer şeylerin yanısıra bu çalışmaların geniş erimli sonuçları, M-kuramının Şekil 13.1 de şematik olarak verilen gösterimini sağlam bir matematiksel temele oturtmuştur.

On boyuttan on bir boyuta yapılan güncellemenin -sicim/M- kuramının matematiksel yapısı açısından sahip olduğu önemden bağımsız olarak- kuramın zihninizdeki resmini büyük ölçüde değiştirmemiş olduğunu tahmin ediyorum. Hemen hemen herkes için yedi tane kıvrılmış boyutu göz önünde canlandırmaya çalışmak, altı tane boyutla neredeyse aynıdır.

Ama ikinci süpersicim devriminden gelen ikinci ve daha yakından ilgili olan bir kavrayış, sicim kuramının temel sezgisel resmini değiştirir. Aralarında Witten, Duff, Hull, Townsend ve diğer pek çoklarının bulunduğu araştırmacıların ortak kavrayışları, sicim kuramının yalnızca sicimlerin kuramı olmadığını ortaya koymuştur.

Zarlar

Geçtiğimiz bölümde aklınıza takılmış olabilecek bir soru şudur: Neden sicimler? Tek boyutlu bileşenler neden bu kadar özeldir? Kuantum mekaniği ve genel göreliliği uzlaştırırken sicimlerin nokta olmamasının, sıfırdan farklı boyutları olmasının hayati önemi olduğunu bulmuştuk. Ama bu koşul, minyatür diskler veya frizbiler şeklindeki iki-boyutlu bileşenlerce veya beyzbol toplan ya da çamurdan yapılmış toplar gibi üç boyutlu bileşenlerce de karşılanır. Veya kuramda bu kadar çok uzay boyutu bulunduğuna göre, daha çok boyutlu benekler de varsayabiliriz. Neden bu bileşenler temel kuramlarımızda herhangi bir rol oynamıyorlar?

1980'lerde ve 1990'ların başında sicim kuramcılarının çoğunun akla yakın bir cevabı var gibiydi. Diğerlerinin yanı sıra -yirminci yüzyıl fiziğinin Werner Heisenberg ve Paul Dirac gibi devlerinin de üzerinde çalıştığı, damlaya benzer bileşenlere dayanan bir "maddenin temel kuramı" formülleştirme çabaları olduğundan söz ediliyordu. Ama onların çalışmaları ve arkadan gelen diğer birçok çalışma, damla benzeri bileşenlere dayanan ve en temel fiziksel koşullan karşılayan, örneğin kuantum mekaniğinde bütün olasılıkların 0 ile 1 arasında olmasını sağlayan (negatif olasılıkların veya 1 'den büyük olasılıkların bir anlamı yoktur) ve ışıktan daha hızlı haberleşmeyi yasaklayan bir kuram geliştirmenin son derece zor olduğunu

gösterdi. 1920'lerde başlayan ve yarım yüzyıl süren araştırmalar, bu koşulların nokta parçacıklar tarafından (kütleçekiminin göz ardı edilmesi ile) kolaylıkla karşılandığını gösterdi. 1980'lerde, Schwarz, Scherk, Green ve diğerlerinin on yıldan fazla süren araştırmaları, diğer çoğu araştırmacıyı şaşırtarak, bu koşulların tek-boyutlu bileşenler, yani sicimler (ki kütleçekimini zorunlu olarak kapsıyordu) tarafından da karşılandığını ortaya koydu. Ama iki ya da daha fazla uzaysal boyutlu temel bileşenlere doğru ilerlemek olanaksız görünüyordu. Bunun nedeni, kısaca, denklemlerdeki simetrinin tek-boyutlu nesneler (sicimler) için en büyük sayıya ulaşması, sonra da çok büyük hızla düşmesiydi. Buradaki simetriler, Bölüm 8'dekilerden daha soyuttur (bir sicimin ya da daha çok boyutlu bir bileşenin hareketini incelerken, gözlemlerimizin çözümlemesini aniden ve rasgele bir şekilde değiştirecek şekilde yaklaşıp uzaklaştığımız zaman denklemlerin nasıl değişeceğiyle ilgilidir). Bu dönüşümlerin fiziksel olarak anlamlı denklem takımları ortaya koymak açısından kritik önemi vardır. Sicimlerin ötesinde ise gerekli olan bu simetri zenginliği yokmuş gibi görünüyor.

Bu nedenle, Witten'in makalesinin ve ardından yağmur gibi yağan sonuçların", sicim kuramının ve onun içinde bulunduğu M-kuramsal yapının, sicimlerin yanı sıra başka bileşenleri de olduğunun anlaşılmasına yol açması, sicim kuramcıları için ikinci bir şok oldu. Çözümlemeler, doğal olarak membrane (zar) (M-kuramındaki M'nin bir diğer olası anlamı) veya (daha yüksek boyutlu akrabalarının adlandırılmasındaki sistematiğe uyarak) iki-zar adı verilen iki boyutlu bileşenlerin varlığını gösterdi. Üç-zar adı verilen, üç uzay boyutuna sahip olan cisimler vardır. Her ne kadar gözde canlandırması giderek zorlaşsa da, çözümlemeler p uzay boyutuna sahip olan ve p-zar (p-brane) adı verilen cisimlerin de olduğunu gösteriyor. Burada p 10'dan küçük herhangi bir tamsayı olabilir. Bu yüzden sicimler, sicim kuramındaki tek bileşenler olmayıp, sicim kuramının bileşenleri arasındadırlar.

Bu diğer bileşenlerin ilk dönemlerde kuramsal olarak gözden kaçmış olmalarının nedeni onuncu uzay boyutununkiyle aynıdır: Yaklaşık sicim denklemleri onları ortaya çıkaramayacak kadar kaba yapılı kalmıştır. Sicim araştırmacılarının matematiksel olarak soruşturduğu kuramsal bağlamlarda bütün p-zarların sicimlerden önemli ölçüde daha ağır oldukları ortaya çıkıyor. Bir şey ne kadar büyük kütleli ise, onu üretmek için o kadar fazla enerji gerekir. Ama yaklaşık sicim denklemlerindeki bir sınırlama -bütün

sicim kuramcılarınca çok iyi bilinen ve denklemlerin yapısal olarak içinde olan bir sınırlama- denklemlerin git gide daha fazla enerji içeren varlıkları ve süreçleri tanımlarken, giderek kesinliklerini kaybettikleridir. P-zarlara ilişkin uç enerjilerde yaklaşık denklemler, gölgelerde kalan zarları gün ışığına çıkarmak için gerekli olan kesinlikten yoksundular, bu nedenle de bunların varlığı, onlarca yıl boyunca matematiksel olarak fark edilmedi. Ama M-kuramsal yapının sağladığı çeşitli yeniden ifade edişler ve yeni yaklaşımlarla araştırmacılar, önceki teknik engellerden bazılarını aşmayı başardılar ve sonunda, tüm matematiksel ayrıntılarıyla birlikte zırhlara bürünmüş olan daha yüksek-boyutlu bileşenleri buldular.

Sicim kuramında sicimlerin yanı sıra başka bileşenlerin de ortaya çıkarılması, daha önceki çalışmaların geçerliliğini, onuncu uzay boyutunun keşfinden daha fazla geçersiz kılmadı. Araştırmalar, eğer daha yüksek-boyutlu zarlar sicimlerden çok daha büyük kütleli iseler -önceki çalışmalarda bilmeden varsayıldığı gibi- kuramsal hesaplamalarda çok az etkileri olacağını gösteriyor. Ama nasıl onuncu uzay boyutu diğerlerinden çok daha küçük olmak zorunda değilse, yüksek boyutlu zarlar da çok büyük kütleli olmak zorunda değildir. Hâlâ varsayımsal olan ve yüksek boyutlu bir zarın kütlesinin en düşük kütleli sicim titreşim desenleriyle eşit - olabileceği çeşitli koşullar vardır ve böyle durumlarda zar, sonuçtaki fizik üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Örneğin, Andrew Strominger ve David Morrison'la birlikte benim yaptığım çalışma, tıpkı bir greyfurtun çevresine sarılan streç naylon gibi, bir zarın kendisini bir Calabi-Yau şeklinin küresel bölümünün çevresine sarabileceğim gösterdi; eğer uzayın o bölgesi büzülürse, çevresine sarılan zar da büzülür ve kütlesi azalır. Kütledeki bu azalmanın, uzay bölgesinin tümüyle çökerek yırtılıp açılmasına neden olacağını -uzayın kendisi açılabilir- ama çevreye sarılmış durumda olan zar sayesinde fiziksel sonuçlarda bir kargaşa ortaya çıkmayacağını göstermeyi başarabildik. Bu gelişmeyi ayrıntılı olarak Evrenin Zarafetinde inceledim ve zamanda yolculuğu inceleyeceğimiz Bölüm 15'te konuya tekrar döneceğim, o yüzden burada daha fazla ayrıntıya girmeyeceğim. Ama bu değinme, yüksek-boyutlu zarların sicim kuramının fiziği üzerinde nasıl önemli etkiler yapabileceğini açıklığa kavuşturuyor.

Şu anda dikkatimizi yoğunlaştırdığımız nokta açısından, sicim/M-kuramına göre zarların evren manzaramızı etkilemesinin derin bir yolu vardır. Evrenin büyük açılımının -bilebildiğimiz uzay zamanın bütünü-

kendisi de devasa bir zardan başka bir şey olmayabilir. Yaşadığımız yer bir zar dünyası olabilir.

Zar Dünyalar

Sicimler küçük-ötesi oldukları için sicim kuramını sınamak çok güçtür. Sicimin büyüklüğünü belirleyen fiziği hatırlayalım. Kütleçekiminin haberci parçacığı -graviton- en düşük enerjili sicim titreşim desenleri arasındadır ve taşıdığı kütleçekimi kuvvetinin şiddeti de sicimin uzunluğuyla orantılıdır. Kütleçekimi böylesine zayıf bir kuvvet olduğu için, sicimin uzunluğu da çok küçük olmalıdır; hesaplamalar, sicimin graviton titreşim deseninin gözlenen şiddette bir kütleçekimi kuvveti taşıması için Planck uzunluğunun yüz katı ile yüzde biri arasında olması gerektiğini gösteriyor.

Bu açıklamaya göre, yüksek-enerjili bir sicimin küçük bir boyutla sınırlanamayacağını görüyoruz, çünkü sicim artık graviton parçacığıyla doğrudan ilişkili değildir (graviton düşük-enerjili, sıfır-kütleli bir titreşim desenidir). Aslında, bir sicime giderek daha fazla enerji yüklendiğinde, önce giderek daha şiddetle titreşecektir. Ama belirli bir noktadan sonra, fazla enerji farklı bir etki yapacaktır: Sicimin boyunun uzamasına neden olacaktır ve sicimin büyümesinin de bir sınırı yoktur. Bir sicime yeterli enerji yükleyerek makroskopik bir boyuta erişmesi bile sağlanabilir. Günümüz teknolojisiyle henüz bu noktaya yaklaşamıyoruz ama büyük olasılıkla Büyük Patlama yı izleyen çok sıcak ve aşırı yüksek enerjili ortamda uzun sicimler ortaya çıkmış olmalı. Eğer bunlardan bazıları günümüze kadar gelmeyi başarmışlarsa, gökyüzünü boydan boya kaplayacak kadar büyük olmaları beklenebilir. Böylesine uzun sicimlerin uzaydan aldığımız veriler üzerinde küçük ama belirlenebilir izler bırakmış olmaları bile olasıdır; belki de sicim kuramı böylece astronomi gözlemleriyle doğrulanabilir.

Yüksek-boyutlu p-zarlar da minik olmak zorunda değildir ve bunlar sicimlerden daha fazla boyuta sahip oldukları için, nitel olarak yeni bir olasılık ortaya koyarlar. Uzun -belki de sonsuz uzunlukta- bir sicimi gözümüzde canlandırdığımızda, gündelik yaşamımızın üç uzun boyutunda var olan tek boyutlu bir cisim düşünürüz. Göz alabildiğine uzanan bir yüksek gerilim hattı buna iyi bir örnektir. Benzer biçimde büyük -belki de sonsuz büyüklükte- bir iki-zar düşündüğümüzde, gözümüzde gündelik yaşantımızdaki üç uzun uzay boyutunun içinde var olan iki boyutlu bir

cisim canlanır. Buna gerçekçi bir örnek veremiyorum ama son derece ince olan ve göz alabildiğine uzanan bir sinema perdesi fikir verebilir. Ama sıra büyük bir üç-zara geldiğinde, kendimizi nitel olarak yeni bir durumda buluruz. Üç-zarın üç boyutu vardır, bu yüzden eğer çok büyükse -belki de sonsuz büyüklükte- üç uzun uzay boyutunun tümünü doldurur. Yüksek gerilim hattına benzettiğimiz bir-zar ve sonsuz büyüklükteki bir sinema perdesine benzettiğimiz iki-zar bizim üç uzun uzay boyutumuzun içinde var olabilirken, büyük bir üç-zar bildiğimiz bütün uzayı kaplar.

Bu da ilginç bir olasılığa yol açar. Acaba şu anda bir üç-zar içinde yaşıyor olabilir miyiz? Bütün dünyası, kendisi daha yüksek boyutlu bir evrende (sinema salonunun üç uzay boyutu) var olan iki boyutlu bir perdede - iki-zarın içinde- var olan Pamuk Prenses gibi, bildiğimiz her şeyin, kendisi de sicim/M-kuramının daha yüksek boyutlu evreninin içinde bulunan, üç boyutlu bir evren içinde var olması mümkün olabilir mi? Newton'un, Leibniz'in, Mach'ın ve Einstein'ın üç boyutlu uzay dediği şey, sicim/M-kuramındaki üç-boyutlu, belirli bir varlık olabilir mi? Veya, daha göreli bir dille, Minkowski ve Einstein tarafından geliştirilen dört-boyutlu uzay zaman, aslında zaman içinde evrilen bir üç-zarın uyanışı olabilir mi? Kısacası, bildiğimiz evren bir zar olabilir mi?

Bir üç-zar içinde yaşıyor olabileceğimiz olasılığı -zar dünyaları senaryosu- sicim/M-kuramının öyküsündeki en son dönemeçtir. Göreceğimiz gibi, bu durum sicim/M-kuramı hakkında, çok sayıda uzak-erimli kollara ayrılan, nitel olarak yeni bir düşünüş yolu ortaya koyar. Temel fizik olarak zarlar bir tür kozmik Velcro gibidir, şimdi inceleyeceğimiz özel anlamda çok yapışkandırlar.

Yapışkan Zarlar ve Titreşen Sicimler

"M-kuramı" teriminin ortaya atılmasının arkasındaki itici güçlerden biri, artık "sicim kuramı"nın, kuramın pek çok bileşenlerinden yalnızca birine ışık tuttuğunu anlamış olmamızdır. Kuramsal çalışmaların bir-boyutlu sicimleri ortaya çıkarması, daha ileri düzeydeki çözümlemelerin daha yüksek-boyutlu zarları ortaya çıkarmasından onyıllar önce olduğu için, "sicim kuramı" tarihsel bir sanat eseri gibidir. Ama her ne kadar M-kuramı, içinde çeşitli boyutların temsil edildiği bir demokrasi sergilemekteyse de, sicimler şimdiki formülleştirmemizde hala en önemli rolü oynuyorlar. Bu

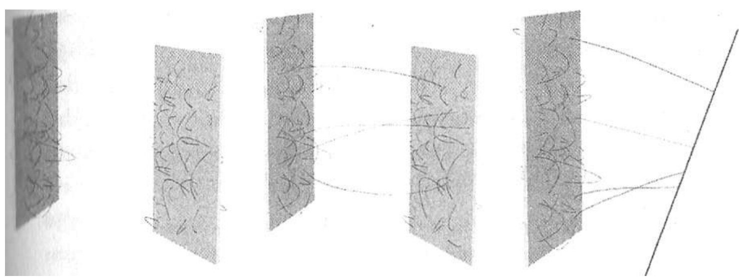
hemen açık olarak görülür. Eğer bütün yüksek- boyutlu p-zarlar sicimlerden çok daha ağır iseler, o zaman araştırmacıların bilmeden 1970'lerden beri yaptığı gibi, ihmal edilebilirler. Ama sicimlerin eşitler arasında birinci olmalarının daha genel bir diğer yolu vardır.

1995'te, Witten in keşfini açıklamasından kısa bir süre sonra Santa Barbara'daki Kaliforniya Üniversitesi’nden Joe Polchinski düşünmeye başladı. Yıllar önce Robert Leigh ve Jin Dai ile yazdığı bir makalede Polchinski, sicim kuramının ilginç ama anlaşılması oldukça güç bir özelliğini keşfetmişti. Polchinski'nin itici gücü ve düşünüş şekli teknikti, ayrıntılar konumuz için önemli olmamakla birlikte, ulaştığı sonuçlar önemlidir. Polchinski belirli bazı durumlarda, açık sicimlerin uçlarının - bunların iki ucu açık sicim parçaları olduğunu hatırlayın- tam bir serbestlik içinde hareket edemediğini bulmuştu. Nasıl telin üzerindeki bir boncuk hareket etmekte özgür olduğu halde yalnızca teli izleyebilirse veya nasıl bir bilardo topu masanın iki boyutlu yüzeyinde hareket ederse, açık bir sicimin uçları da hareket etmekte özgür olmakla birlikte, uzayda belirli bazı şekillerde hareket edebilir. Polchinski ve çalışma arkadaşları, sicimin titreşmekte özgür olmakla birlikte uçlarının uzayda bazı bölgelerde "yapışık" veya "hapis" kaldığını göstermişti.

Bazı durumlarda bu bölge tek-boyutlu olabilir, bu durumda sicimin uçları tıpkı telin üzerinde kayan iki boncuk gibi, sicimin kendisi ise boncukları birleştiren kordon gibi düşünülebilir. Başka durumlarda, bölge iki boyutlu olabilir; sicimin uçları birbirine bir kordonla bağlı olan ve masanın yüzeyinde hareket eden iki bilardo topu gibi olabilir. Daha başka durumlardaysa, bölge üç, dört veya ondan az olmak üzere herhangi bir boyutta olabilir. Polchinski ve aynı zamanda Petr Horava ve Michael Green tarafından da gösterilen bu sonuçlar, açık ve kapalı sicimlerin karşılaştırılmasına ilişkin uzun zamandır ortada olan bilmecenin çözülmesine yardımcı oldular ama yıllar boyunca bu çalışma çok az ilgi çekti. 1995 Ekiminde, önceki dönemden kalan bu görüşleri Witten'in yeni keşiflerinin ışığı altında yeniden düşünmeyi bitirdiğinde bu değişti.

Polchinski'nin önceki makalesinin tam bir cevap vermeden bıraktığı bir soru, son paragrafı okurken belki sizin de aklınıza gelmiş olabilir: Eğer açık sicimlerin uçları uzayda bazı bölgelerde yapışıksa, acaba bunların yapıştığı yer nedir? Teller ve bilardo masaları, onlar boyunca veya onların yüzeyinde hareket eden boncuklardan veya bilardo toplarından bağımsız olarak, algılanabilir varlıklardır. Ya sicimlerin uçlarının yapışık olduğu uzay

bölgeleri? Acaba bu bölgeler sicimlerin serbest uçlarının hareketlerini kıskançlıkla kısıtlayan, sicim kuramının bağımsız ve temel bir bileşeni ile mi doludur? Sicim kuramının yalnızca sicimlerin kuramı olduğunun düşünüldüğü 1995 öncesinde bu iş için hiç aday yokmuş gibi duruyordu. Ama Witten'ın atılımı ve onun esinlendiği, yağmur gibi yağan sonuçlardan sonra Polchinski cevabı açık olarak gördü: Eğer açık sicimlerin uçları uzayın p-boyutlu bir bölgesinde hareket etmek üzere kısıtlanıyorlarsa, o zaman, uzayın o bölgesi bir p-zar tarafından doldurulmuş olmalıydı. Polchinski'nin hesapları, yeni keşfedilen p-zarların, sicimlerin açık uçlarını kurtulamayacakları şekilde yakalayıp, onları doldurdukları uzayın p-boyutlu bir bölgesinde hareket etmek üzere kısıtlamak için uygun özelliklere sahip olduklarını gösterdi.



Şekil 13.2 (a) Uçları iki boyutlu zarlara tutunmuş açık sicimler (b) Bir iki boyutlu zarla diğer bir iki boyutlu zar arasında gerilmiş sicimler (c) İki boyutlu bir zarla tek boyutlu bir arasında gerilmiş sicimler

Bunun ne anlama geldiğini daha iyi hissetmek için, Şekil 13.2 ye bakın, (a)'da birkaç tane iki-zar görüyoruz, hareket eden ve titreşen sicimlerden hepsinin uçları zarların içinde hareket edecek şekilde kısıtlanmış. Her ne kadar çizmek giderek zorlaşsa da, daha yüksek-boyutlu zarlarda durum aynıdır. Açık sicim uçları p-zarın içinde ve üzerinde hareket edebilir, ama zarı terk edemezler. Zar dışına çıkarak hareket etme olasılığına gelince, zarlar düşünülebileceğiniz en yapışkan şeylerdir. Açık bir sicimin bir ucunun bir p-zarda, diğerinin, ilkiyle aynı boyutta olabilecek (Şekil 13.2b) veya olmayabilecek (Şekil 13.2c) bir başka p-zarda olma olasılığı da vardır.

Polchinski'nin yeni makalesi, Witten'ın çeşitli sicim kuramları arasındaki ilişkilerle ilgili keşfine, ikinci süpersicim devrimi için bir eş manifesto sağladı. Yirminci yüzyıl kuramsal fiziğinin üstün zekâlarından bazıları,

temel bileşenlerinin boyutları noktalarınkinden (sıfır boyut) veya sicimlerinkinden (bir boyut) daha yüksek olan bir kuram geliştirmeye çalışıp başarısız olurken, Witten'in ve Polchinski'nin bulduğu sonuçlar, günümüzün önde gelen araştırmacılardan gelen önemli fikirlerin de katkısıyla ilerlemeye giden yolu açtı. Bu fizikçiler sicim/M- kuramının daha yüksek-boyutlu bileşenler içerdiğini ortaya çıkarmakla kalmadılar, özellikle Polchinski'nin fikirleri bu bile-şenlerin ayrıntılı fiziksel özelliklerini kuramsal olarak çözümlemenin de yolunu gösterdi (eğer varlıkları kanıtlanırsa). Polchinski, bir zarın özelliklerinin büyük ölçüde uç noktaları bu zarın içinde olan titreşen açık sicimlerin özellikleri tarafından belirlendiğini ileri sürdü. Nasıl bir halının tüyleri -bir uçları halının sırt dokusuna bağlı olan yün parçaları- üzerinde elinizi gezdirerek o halı hakkında pek çok şey öğrenebilirseniz, bir zarın pek çok özelliği de bir uçları bu zarın içinde olan sicimler incelenerek belirlenebilir.

Bu, çok önemli sonuçtu. On yıllarca süren araştırmalar sonucunda tek-boyutlu cisimleri -sicimleri- incelemek için üretilen kesin matematiksel araçların, daha yüksek-boyutlu cisimleri, p-zarları incelemek için de kullanılabileceğini gösteriyordu. Bu durumda Polchinski de harika bir şekilde yüksek-boyutlu cisimleri çözümlemenin, büyük ölçüde, hâlâ varsayımsal olsa da bilindik sicimlerin çözümlenmesine indirgendiğini ortaya çıkardı. İşte sicimlerin eşitler arasında birinci olmasının anlamı budur. Eğer sicimlerin davranışlarını anlayabilirseniz, o zaman p-zarların davranışını anlamak konusunda da çok yol kat etmişsiniz demektir.

Bu görüşlerle şimdi zar dünyaları senaryosuna -hepimizin bütün hayatımızı bir üç-zarın içinde yaşıyor olabileceğimiz olasılığına- geri dönelim.

Bir Zar Olarak Evrenimiz

Eğer bir üç-zarın içinde yaşıyorsak, eğer dört boyutlu uzay zamanımız üç-zarın zamanda sürüklenmesinin tarihinden başka bir şey değilse, uzay zamanın bir şey olup olmadığı yolundaki önemli soruya yeni ve parlak bir ışık tutulmuş olur. Bildiğimiz dört boyutlu uzay zaman bulanık ya da soyut bir fikirden değil, sicim/M-kuramındaki gerçek, fiziksel bir varlıktan, bir üç-zardan çıkar. Bu yaklaşımda dört boyutlu uzay zamanımızın gerçekliği, bir elektronun veya bir kuarkın gerçekliğiyle eşdeğerdir. (Elbette hâlâ içinde

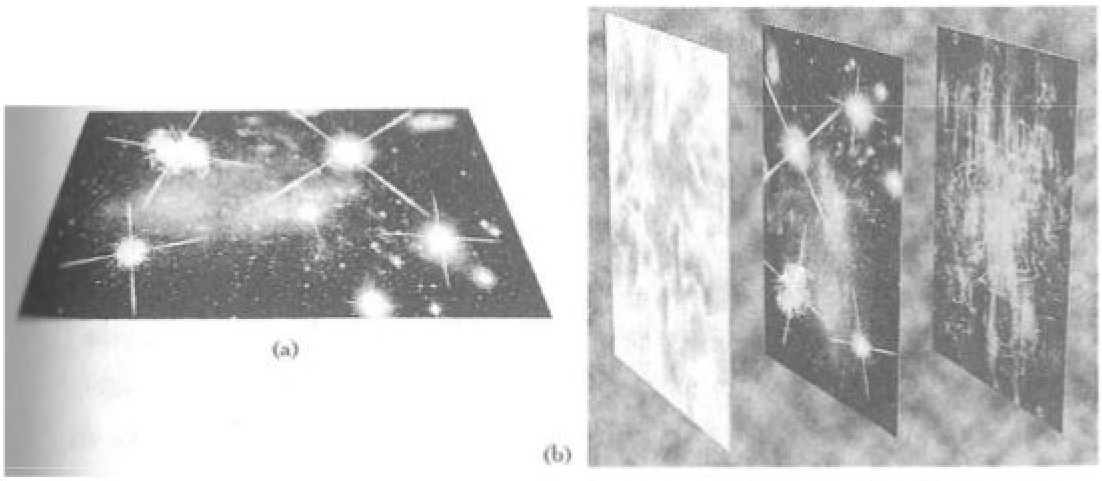
sicimlerin ve zarların var olduğu daha geniş uzay zamanın -sicim/M-kuramının on bir boyutunun- kendisinin bir varlık olup olmadığını sorabilirsiniz; ama doğrudan yaşadığımız uzay zaman arenasının gerçekliği açıktır.) Ama eğer haberdar olduğumuz evren gerçekten bir üç-zar ise eğer, kısa bir göz atışla bile bir şeyin içinde olduğumuz, bir üç-zar içinde olduğumuz ortaya çıkmayacak mıdır?

Modern fiziğin, içine gömülü olabileceğimizi söylediği şeyleri -bir Higgs okyanusu, karanlık enerjiyle dolu uzay, çok büyük sayıda kuantum alan dalgalanmaları- zaten öğrenmiştik. Bunların hiçbiri insan algıları tarafından doğrudan fark edilmez. Bu yüzden sicim/M-kuramının, "boş" uzayı doldurmuş olabilecek gözle görülmeyen şeyler listesine yeni bir aday eklediğini öğrenmek sizi şaşırtmasın. Ama şövalyelik yapmayalım. Önceki her olasılığın fizikteki etkisini ve gerçekten var olup olmadığını nasıl kanıtlayacağımızı anlıyoruz. Gerçekten, bu üçünden ikisinin -karanlık enerji ve kuantum salınımları- varlığını destekleyen güçlü kanıtların toplandığını zaten görmüştük; Higgs alanı için kanıtlar da şu anda çalışmakta olan ve gelecekte planlanan hızlandırıcılarda aranıyor ve aranmaya devam edecek. Acaba bunlara karşılık bir üç-zar içindeki hayat konusunda durum ne? Eğer zar-dünya senaryosu doğru ise, o zaman neden bu üç- zarı görmüyoruz ve varlığını nasıl kanıtlayacağız?

Cevap, zar dünyaları bağlamında sicim/M-kuramının fiziksel anlamının, önceki "zar olmayan" senaryolardan hangi temel değişiklikleri gösterdiğine ışık tutar. Örnek olarak ışığın hareketini -fotonların hareketini- göz önüne alalım. Sicim kuramında, sizin de bildiğiniz gibi, foton özel bir sicim titreşim desenidir. Daha açık anlatımla, matematiksel çalışmalar zar dünyalar senaryosunda fotonları kapalı sicim titreşimlerinin değil, yalnız açık sicim titreşimlerinin ürettiğini gösterdi ki, bu da büyük bir fark yaratır. Açık sicimlerin uç noktaları eğer bir üç-zar içinde hareket edecek şekilde sınırlandırılmamışsa tümüyle serbesttirler. Bu da fotonların (foton oluşturacak şekilde titreşen açık sicimlerin) üç-zarımızın içinde hiçbir engelle karşılaşmadan, hareket edecekleri anlamına gelir. Bu da zarı, içinde bulunduğumuzu görmemizi engelleyecek şekilde tümüyle saydam -tümüyle görünmez- yapar.

Aynı derecede önemli bir nokta da şudur: Açık sicimlerin uç noktaları zar dışına çıkamadığından, fazladan boyutlarda hareket edemezler. Tıpkı telin, üzerinde hareket eden boncukları; bilardo masasının, üzerinde hareket eden topları sınırladığı gibi, yapışkan üç-zarımız da fotonların yalnızca üç

uzaysal boyutumuzda hareket etmelerine izin verir. Fotonlar elektromanyetizmanın haberci parçacıkları olduğu için, bunun anlamı, elektromanyetik kuvvetin -ışığın- Şekil 13.3’te gösterildiği gibi (çizebilmek için iki boyutta gösterdik) üç boyutumuza hapsolduğudur.



Şekil 13.3 (a) Zar dünyalar senaryosunda fotonlar, uçları zar içinde olan açık sicimlerdir, o yüzden bunlar -yani ışık- zarı terk edemez, (b) Zar dünyamız, gördüğümüz ışık bizim zarımızı terk edemediği için bize görünmeyen, daha geniş bir fazladan boyutlar ortamında yüzüyor olabilir. Yakınlarda yüzen başka zar dünyalar da olabilir.

Bu, önemli sonuçları olan yoğun bir kavrayıştır. Daha önceleri sicim/M-kuramının fazladan boyutlarının sıkıca kıvrılmış olmalarının gerektiğini söylemiştik. Bunun açık nedeni, bu boyutları göremediğimiz için, gizli olmalarının gerekmesiydi. Bu boyutları gizlemenin bir yolu da, bunları bizim araçlarımızın göremeyeceği kadar küçültmektir. Ama gelin şimdi zar dünyaları senaryosunu yeniden gözden geçirelim. Nesneleri nasıl algılarız? Gözlerimizi kullandığımızda elektromanyetik kuvveti kullanırız; elektron mikroskobu gibi güçlü araçları kullandığımızda da elektromanyetik kuvveti kullanırız; atom çarpıştırıcılarını kullandığımızda, küçük-ötesi şeyleri belirlemek için kullandığımız kuvvet yine elektromanyetik kuvvettir. Ama eğer elektromanyetik kuvvet bizim üç-zarımıza, üç uzay boyutumuza hapsolmuş durumdaysa, büyüklükleri ne olursa olsun fazladan boyutları araştıramaz. Eğer fazladan boyutlar bildiğimiz uzay boyutları kadar büyük olsa bile, fotonların bizim boyutlarımızdan kaçıp fazladan boyutlara

girmesi, daha sonra gözümüze veya kullandığımız araca girerek bizim bu boyutların varlığından haberdar olmamızı sağlamaları olası değildir.

Bu yüzden eğer bir üç-zarın içinde yaşıyorsak, fazladan boyutlardan neden haberdar olmadığımız konusunda alternatif bir açıklamamız var. Fazladan boyutlar son derece küçük olmak zorunda değil. Büyük olabilirler. Görüş şeklimizden ötürü onları görmüyoruz. Bildiğimiz üç boyutun dışına çıkamayan elektromanyetik kuvveti kullanarak görüyoruz. Su üstünde yüzmekte olan bir yaprağın üzerinde yürürken görünen yüzeyin altındaki derin sulardan habersiz olan bir karınca örneği, Şekil 13.3b'te görüldüğü gibi, büyük, geniş, daha yüksek-boyutlu bir uzayda yüzüyor olabiliriz ama -sonsuza kadar bizim boyutlarımıza hapsolmuş olan- elektromanyetik kuvvet bunu ortaya çıkaramaz.

Tamam, diyebilirsiniz, ama elektromanyetik kuvvet doğadaki dört kuvvetten yalnızca biri. Ya diğer üçü? Onlar fazladan boyutlara girerek bu boyutların varlığını ortaya çıkarabilir mi? Güçlü ve zayıf nükleer kuvvetler için cevap yine hayırdır. Hesaplamalar, zar dünyalar senaryosunda, bu kuvvetlerin haberci parçacıkları olan W ve Z parçacıklarının da açık-sicim titreşim desenlerinden kaynaklandığını göstermiştir, o nedenle bu parçacıklar da tıpkı fotonlar gibi hapsolmuş durumdadır; güçlü ve zayıf nükleer kuvvetleri içeren süreçler de fazladan boyutlara karşı aynı derecede kördür. Aynı şey madde parçacıkları için de geçerlidir. Elektronlar, kuarklar ve bütün diğer parçacık türleri de uçları hapsolmuş olan açık sicimlerin titreşimlerinden kaynaklanırlar. Bu nedenle; ben, siz ve gördüğümüz her şey bizim üç-zamanımızda kalıcı olarak hapsolmuş durumdadır. Zamanı da göz önüne alırsak, her şey bizim dört boyutlu uzay zaman dilimimizin içine hapsolmuş durumdadır.

Ya da hemen hemen her şey. Kütleçekimi kuvveti için durum farklıdır. Zar dünyalar senaryosundaki matematiksel çözümlemeler, gravitonların tıpkı daha önce incelediğimiz zar-dışı senaryolarda olduğu gibi, kapalı sicimlerin titreşimlerinden kaynaklandığını gösteriyor. Kapalı sicimler -uç noktaları olmayan sicimler- zarlar tarafından hapsedilemez. Bunlar zarları terk edebilir, üzerlerinde veya içlerinde serbestçe hareket edebilir. Bu yüzden, eğer bir zar içinde yaşıyorsak, fazladan boyutlardan tam olarak kopmuş sayılmayız. Kütleçekimi kuvveti aracılığıyla fazladan boyutları hem etkileyebilir, hem de onlar tarafından etkilenebiliriz. Böyle bir senaryoda kütleçekimi, üç boyutumuzun ötesiyle etkileşebilmemizin tek yoludur.

Fazladan boyutlardan kütleçekimi kuvveti aracılığıyla haberdar olabilmemiz için bu boyutların ne kadar büyük olmaları gerekir? Bu, ilginç ve kritik bir sorudur. Öyleyse, bir göz atalım.

Kütleçekimi ve Fazladan Boyutlar

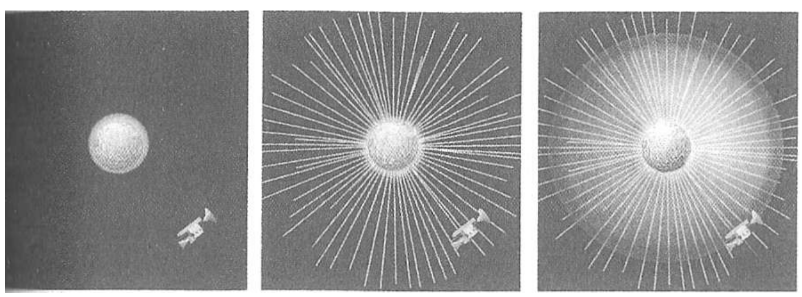
1687'de Newton evrensel kütleçekimi yasasını ileri sürdüğünde aslında uzay boyutlarının sayısı konusunda güçlü bir saptama yapıyordu. Newton yalnızca iki cisim arasındaki çekim kuvvetinin cisimler birbirlerinden uzaklaştıkça azalacağını söylemekle kalmamıştı, iki cisim birbirinden uzaklaştıkça çekim kuvvetinin nasıl azalacağını kesin bir şekilde tanımlayan bir formül, bir ters kareyasası ortaya koymuştu. Bu formüle göre eğer cisimler arasındaki uzaklık iki katına çıkarsa aralarındaki çekim kuvveti 4 (22) kat azalır; eğer uzaklık üç katına çıkarsa çekim kuvveti 9 (32) kat azalır; eğer uzaklık dört katına çıkarsa, çekim kuvveti 16 (42) kat azalır; daha genel olarak çekim kuvveti uzaklığın karesiyle azalır. Son birkaç yüz yıldır açıkça kanıtlandığı gibi, bu formül işliyor.

Ama acaba neden kuvvet uzaklığın karesiyle orantılı? Neden kuvvet uzaklığın küpüyle (uzaklık iki katına çıktığında kuvvet 8 kat azalır) veya dördüncü kuvvetiyle (uzaklık iki katına çıktığında kuvvet 16 kat azalır) azalmıyor ya da örneğin kuvvet uzaklığın kendisiyle ters orantılı (uzaklık iki katına çıktığında kuvvet yarıya düşer) değil? Cevap doğrudan uzay boyutlarının sayısına bağlıdır.

Bunu görmenin bir yolu, iki cisim tarafından salınan ve soğurulan gravitonların sayısının bu iki cismin arasındaki uzaklığa nasıl bağlı olduğunu veya her iki cismin gördüğü uzay zaman eğriliğinin aralarındaki uzaklık arttıkça nasıl azaldığını düşünmektir. Ama gelin, bizi çabucak ve sezgisel bir biçimde doğru cevaba ulaştıracak olan daha basit ve daha eski moda bir yaklaşım deneyelim. Şekil 3.1'in bir çubuk mıknatısın yarattığı manyetik alanı şematik olarak gösterdiği gibi, büyük kütleli bir cismin, diyelim ki Güneş'in yarattığı kütleçekimi alanını şematik olarak gösteren bir şekil (Şekil 13.4a) çizelim. Manyetik alan çizgileri çubuk mıknatısın kuzey kutbundan güney kutbuna doğru giderken, kütleçekimi alanı çizgilerinin her yönde ışınsal olarak yayıldığına ve yayılmaya devam ettiğine dikkat edin. Belirli uzaklıktaki başka bir cismin -varsayalım yörüngede dönmekte olan bir uydunun- hissedeceği kütleçekimi kuvveti, o cismin konumundaki alan

çizgilerinin yoğunluğu ile orantılıdır. Eğer uyduya Şekil 13.4b'deki gibi daha fazla sayıda alan çizgisi girerse, cismin üzerindeki kütleçekimi kuvveti de o oranda artar.

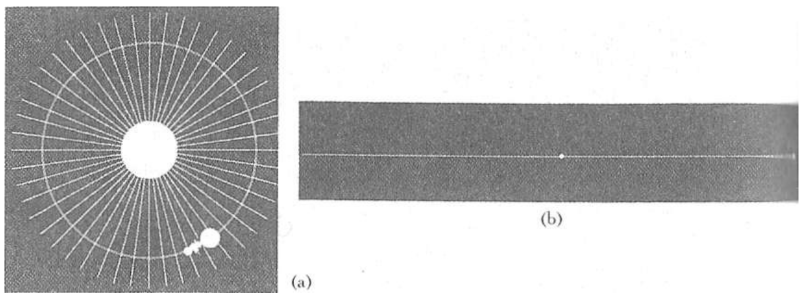
Şimdi artık Newton'un ters kare yasasının kökenini açıklayabiliriz. Şekil 13.4c'deki gibi, merkezi Güneş'in merkezinde olan ve yüzeyi uydunun konumundan geçen hayali bir kürenin yüzey alanı -üç boyutlu uzaydaki herhangi bir kürenin yüzey alanı gibi- kürenin yarıçapının karesiyle, bu örnekte Güneş'le uydu arasındaki uzaklığın karesiyle orantılıdır. Bu da küre yüzeyinden geçen alan çizgilerinin yoğunluğunun -alan çizgilerinin toplam sayısının kürenin yüzey alanına bölümünün- Güneş-uydu uzaklığının karesiyle azalacağı anlamına gelir. Eğer bu uzaklık iki katına çıkarsa, aynı sayıdaki alan çizgileri dört kat daha büyük bir alana dağılacak, bu yüzden de bu uzaklıktaki kütleçekimi kuvveti dört kat daha az olacaktır. Bu nedenle Newton'un kütleçekimine ilişkin ters kare yasası, üç boyutlu uzaydaki kürelerin geometrik özelliklerinin bir yansımasıdır.



Şekil 13.4 (a) Güneş'in uydu gibi bir cisim üzerine uyguladığı kütleçekimi kuvveti aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Bunun nedeni Güneş'in kütleçekimi alan çizgilerinin birörnek biçimde (b)'deki gibi dağılması ve bu yüzden d uzaklığındaki yoğunluğunun, d yarıçaplı bir kürenin yüzey alanıyla ters orantılı olmasıdır -bu, şematik olarak (c)'de gösterildiği gibi- temel geometrinin d2 ile orantılı olduğunu gösterdiği bir alandır.

Eğer evrende iki veya yalnızca bir uzay boyutu olsaydı acaba Newton'ın formülü nasıl değişirdi? Şekil 13.5a'da iki boyutlu bir güneş ve çevresinde dolanan uydusu görülüyor. Görebileceğiniz gibi, verilen herhangi bir uzaklıkta güneşin kütleçekimi alanının çizgileri, kürenin bir düşük boyuttaki benzeri olan çember üzerine dağılıyor. Çemberin çevresi, yarıçapla orantılı olduğundan (yarıçapın karesiyle değil), eğer güneş-uydu uzaklığı iki katına çıkarsa alan çizgilerinin yoğunluğu 2 faktörüyle azalacak

(4 değil), ve bu yüzden de güneşin kütleçekimi kuvveti yarıya düşecektir (dörtte bire değil). Eğer evrende yalnızca iki uzay boyutu olsaydı, kütleçekimi kuvveti uzaklığın karesiyle değil, uzaklıkla ters orantılı olacaktı.



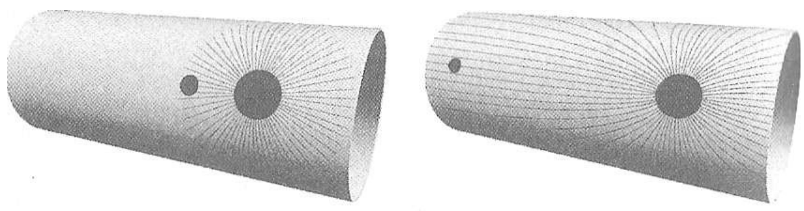
Şekil 13.5 (a) Yalnızca iki uzay boyutuna sahip olan bir evrende kütleçekimi uzaklıkla ters orantılı olarak azalır çünkü kütleçekimi alan çizgileri, çevresi yarıçapıyla orantılı olan bir çember üzerine dağılacaktır, (b) Bir uzay boyutuna sahip olan bir evrende kütleçekimi alan çizgileri dağılacak bir yer bulamayacaklarından, kütleçekimi, uzaklıktan bağımsız olarak sabittir.

Eğer evrende Şekil 13.5'te görüldüğü gibi yalnızca bir uzay boyutu olsaydı, kütleçekimi yasası daha da basit olacaktı. Kütleçekimi alan çizgileri yayılacak alan bulamayacağı için, kütleçekimi uzaklıkla azalmayacaktı. Eğer güneşle uydu arasındaki uzaklığı iki katına çıkarsaydınız (böyle cisimlerin benzerlerinin böyle bir evrende var olduğunu varsayarak) uyduya giren alan çizgisi sayısı değişmeyeceği için iki cisim arasındaki kütleçekimi kuvveti değişmeyecekti.

Her ne kadar çizmek olanaksız olsa da, Şekil 13.4 ve Şekil 13.5'te gösterilen desen, doğrudan dört, beş, altı veya herhangi bir sayıda uzay boyutu olan bir evrene genişletilebilir. Uzay boyutlarının sayısı ne kadar artarsa, kütleçekimi alan çizgileri dağılacak o kadar fazla yer bulur. Ne kadar çok dağılırlarsa da, kütleçekimi artan uzaklıkla o kadar hızlı düşer. Dört uzay boyutunda Newton'un yasası bir ters küp yasası olurdu (uzaklık iki katına çıktığında kuvvet 8 kat azalır); beş uzay boyutunda ters dördüncü kuvvet yasası olurdu (uzaklık iki katına çıktığında kuvvet 16 kat azalır); altı uzay boyutunda ters beşinci kuvvet yasası olurdu (uzaklık iki katma çıktığında kuvvet 32 kat azalır); daha fazla boyutlu evrenlerde de bu böyle sürüp gider.

Newton yasasının ters kare versiyonunun çok miktardaki veriyi -gezegenlerin hareketinden kuyrukluyıldızların yörüngelerine- açıklamaktaki başarısının, üç boyutlu bir evrende yaşamakta olduğumuzun bir kanıtı olduğunu düşünebilirsiniz. Ama bu acele varılmış bir karar olur. Ters kare yasasının astronomi ölçeklerinde ve yer ölçeklerinde işlediğini biliyoruz, bu da, böyle ölçeklerde üç uzay boyutumuzun olduğu gerçeğiyle uyuşuyor. Ama bu yasanın daha küçük ölçeklerde işlediğini biliyor muyuz? Kütleçekiminin ters kare yasası mikro evrenin hangi ölçeklerine kadar sınandı? Deneyciler yasayı milimetrenin onda birine kadar doğruladılar; eğer iki cisim birbirlerine milimetrenin onda biri kadar yaklaştırılırsa, veriler bunların aralarındaki kütleçekimi kuvvetinin ters kare yasasına uyduğunu gösteriyor. Ama şimdiye kadar ters kare yasasını daha kısa ölçeklerde sınamanın önemli teknik güçlükleri olduğu ortaya çıktı (kuantum etkileri ve kütleçekiminin zayıflığı deneyleri karmaşık hale getiriyor). Ters kare yasasından sapmalar, fazladan boyutlar konusunda ikna edici bir sinyal olacağından bu, kritik bir konudur.

Bunu açıkça görmek için kolayca çizebileceğimiz ve çözümleyebileceğimiz, daha düşük boyutlu bir oyuncakla çalışalım. Bir uzay boyutuna sahip bir evrende yaşadığımızı veya hem yalnızca bir boyut gözle görülebilir olduğu için, hem de yüzyıllardır yapılan deneyler kütleçekiminin cisimlerin arasındaki uzaklıkla değişmediğini gösterdiği için öyle sandığımızı varsayın. Ama aynı zamanda bütün o yıllar boyunca deneycilerin kütleçekimi yasasını yalnızca milimetrenin onda birine kadar sınayabildiğim de varsayın. Daha küçük uzaklıklar için kimsenin elinde bir veri bulunmuyor olsun. Şimdi evrenin yalnızca bir avuç kuramsal fizikçiden başka kimsenin bilmediği, kıvrılmış, ikinci bir boyutu daha olduğunu düşünün. Bu, evrenimizi Şekil 12.5'te görülen, Philippe Petit'nin gerilmiş halatına benzetir. Bu, acaba gelecekteki daha hassas kütleçekimsel deneyleri nasıl etkileyecektir? Şekil 13.6 ya bakarak bu soruya bir cevap verebiliriz. İki minik cisim birbirine yeterince -kıvrılmış boyutun çevresinden daha fazla-yaklaştırıldığında, uzayın iki-boyutlu karakteri anında ortaya çıkar, çünkü o ölçeklerde kütleçekimi alan çizgilerinin dağılacağı yer vardır (Şekil 13.6a). İki cisim birbirine yeterince yaklaştırıldığı zaman, kütleçekimi kuvveti uzaklıktan bağımsız olmak yerine, uzaklığın tersiyle orantılı olarak değişir.



Şekil 13.6 (a) Cisimler yakın olduğunda kütleçekimi, iki uzay boyutuna sahip evrende olduğu gibi, değişir, (b) Cisimler daha uzak olduğunda kütleçekimi bir uzay boyutuna sahip bir evrendeki gibi davranır, yani sabit kalır.

Bu nedenle, eğer böyle bir evrende deneyci olsaydınız ve kütleçekimini ölçmek üzere kesin ve hassas yöntemler geliştirmiş olsaydınız, bulacağınız sonuç bu olurdu. iki cisim birbirine çok yakın, kıvrılmış boyutun büyüklüğünden daha yakın olduğu zaman, aralarındaki kütleçekimi kuvveti, tam da iki uzay boyutuna sahip olan bir evrenden bekleyebileceğiniz gibi, uzaklıklarıyla orantılı olarak azalacaktı. Ama o zaman, cisimlerin aralarındaki uzaklık, kıvrılmış boyutun çevresi kadar olduğunda, her şey değişecekti. Bu uzaklığın ötesinde kütleçekimi alan çizgileri daha fazla dağılamayacaktı. İkinci, kıvrılmış boyutta dağılabilecekleri kadar dağılacaklar ve bir sınıra, bir doyma noktasına ulaşacaklardı. Bu uzaklıktan itibaren kütleçekimi Şekil 13.6b de gösterildiği gibi uzaklıkla azalmayacaktı. Bu doyma noktasını eski bir evdeki su tesisatına benzetebilirsiniz. Siz tam banyoda saçınızdaki şampuanı durulayacakken, birisi mutfak musluğunu açtığında, su iki çıkışa dağılacağından su basıncı düşebilir. Başka biri çamaşırhanedeki musluğu açarsa su üç musluğa dağılacağından basınç daha da düşer. Ama evdeki tüm musluklar açıldıktan sonra artık su basıncı sabit kalacaktır. Her ne kadar beklediğiniz rahatlatıcı, yüksek basınçlı duşu sağlamasa da, su dağılabileceği bütün "fazladan" çıkışlara zaten dağılmış olduğundan basınç daha fazla düşmez. Benzer biçimde, kütleçekimi alanı bir kez fazladan, kıvrılmış boyutlara tümüyle dağıldıktan sonra, artık uzaklıkla daha fazla azalmayacaktır.

Elinizdeki verilerden iki şey çıkarırdınız. Birincisi, cisimler birbirine çok yakın olduğunda kütleçekimi kuvvetinin uzaklıkla orantılı olarak azaldığı gerçeğinden evrenin bir değil iki uzay boyutuna sahip olduğunu anlardınız, ikincisi, kütleçekimi özel bir uzaklıktan sonra yüzyıllardır yapılan deneyler sonucunda sabit olarak bulunduğuna göre, bu boyutlardan birinin kıvrılmış olduğuna ve büyüklüğünün de bu özel uzaklık kadar olduğu sonucuna varırdınız. Bu sonuçla da hemen hemen her sorgulamanın üzerinde gibi

görünen, çok temel bir şey olan uzayın boyutlarının sayısı konusundaki yüzlerce, belki de binlerce yıllık inanışı alt-üst etmiş olurdunuz. Her ne kadar göz önünde canlandırma kolaylığı açısından bu öykünün daha düşük-boyutlu bir evrende geçmesini sağladıysam da, durum buna çok benzer olabilir. Yüzlerce yıldır yapılan deneyler kütle çekiminin uzaklığın küresiyle azaldığını göstermiş, bu da üç uzay boyutu bulunduğu konusunda güçlü bir kanıt ortaya koymuştur. Ama 1998 yılına kadar hiçbir deney kütleçekiminin milimetreden daha küçük uzaklıklardaki gücünü ölçememişti (bugün, söz edildiği gibi, bu sınır milimetrenin onda birine kadar inmiştir). Bu da Stanford'dan Savaş Dimopoulos, şimdi Harvard'da olan Nima Arkani-Hamed ve New York Üniversitesi'nden Gia Dvali'nin, zar dünyaları senaryosunda fazladan boyutların milimetrenin onda biri kadar olabileceğini ve yine de saptanamayabileceğini öne sürmelerine yol açtı. Bu köktenci öneri, bazı deney gruplarının ters kare yasasının ihlal edildiğini bulmak ümidiyle milimetre altı uzaklıklarda kütleçekimini incelemeye başlaması için esin kaynağı oldu. Şimdiye kadar, milimetrenin onda biri ölçeğine kadar herhangi bir şey bulunamadı. Bu yüzden, günümüzün olağanüstü hassasiyetteki kütleçekimi deneyleriyle bile, eğer bir üç-zar içinde yaşıyorsak, fazladan boyutlar milimetrenin onda biri kadar olabilir ve biz yine de onları fark etmeyebiliriz.

Bu, son on yılda ulaşılan en çarpıcı kavrayışlardan biridir. Kütleçekimi dışındaki üç kuvveti kullanarak bir metrenin milyar kere milyarda birine (10-18) kadar inebiliriz ve hiç kimse fazladan boyutlara ilişkin bir ipucu bulamamıştır. Ama zar dünyalar senaryosuna göre, kütleçekimi dışındaki kuvvetler zarın kendisine hapsolmuş durumda olduklarından, fazladan boyutların araştırılmasında rol oynayamazlar. Yalnızca kütleçekimi fazladan boyutların doğası konusunda fikir verebilir ve fazladan boyutlar bir insan saçı kadar kalın olabilir ama yine de en hassas aletlerle bile saptanamayabilirler. Şu anda hemen sizin yanı başınızda, hemen benim yanı başımda, hemen herhangi birisinin yanı başında bir başka uzay boyutu -sol/sağ, ileri/geri, aşağı/yukarının dışında- kıvrılmış olmasına rağmen bu sayfayı yutabilecek kadar büyük bir boyut bulunabilir ve yine de tümüyle bizim kavrayışımızın dışında kalabilir.

Büyük Fazladan Boyutlar ve Büyük Sicimler

Zar dünyalar senaryosu dört kuvvetten üçünü hapsederek fazladan boyutların büyüklüğü üzerindeki deneysel sınırlamaları büyük ölçüde serbest bırakmıştır ama, fazladan boyutlar bu yaklaşımın büyük olmalarına izin verdiği tek şey değildir. Witten'ın görüşlerini izleyen Joe Lykken, Constantin Bachas ve arkadaşları, Ignatos Antoniadis ve Arkani-Hamed, Dimopoulos ve Dvali, zar dünyalar senaryosunda uyarılmamış, düşük-enerjili sicimlerin bile, önceden düşünüldüğünden çok daha büyük olabileceklerini fark ettiler. Gerçekten de iki ölçek -fazladan boyutların büyüklüğü ve sicimlerin büyüklüğü- birbirleriyle yakından bağlantılıdır.

Önceki bölümden, bir sicimin temel büyüklüğünün, onun kütleçekimsel titreşim deseninin gözlenen güçteki bir kütleçekimi oluşturmasını gerektirmesinden hareket ederek belirlendiğini hatırlayalım. Kütleçekiminin zayıflığı sicimin çok kısa, yaklaşık Planck uzunluğunda (10-33 cm) olduğu anlamına gelir. Ama bu sonuç, fazladan boyutların büyüklüğüne sıkı sıkıya bağlıdır. Bunun nedeni, sicim/M-kuramında, üç uzun boyutumuzda gözlediğimiz kütleçekimi kuvvetinin gücünün iki faktöre birden bağlı olmasıdır. Bu faktörlerden biri yapısal olup, kütleçekimi kuvvetinin temel gücüdür, ikinci faktörse fazladan boyutların büyüklüğüdür. Fazladan boyutlar büyüdükçe bunlar daha fazla kütleçekimi taşıyabilir ve kütleçekiminin bildiğimiz boyutlardaki gücü daha az görünür. Tıpkı suyun daha fazla dağılması için yeterince hacim sağlayan büyük borularda su basıncının daha düşük olması gibi, fazladan boyutlar da kütleçekiminin dağılması için daha fazla yer sağlayarak gücünün azalmasına neden olurlar.

Sicimlerin uzunluğunun hesaplanmasında kullanılan özgün hesaplar fazladan boyutların çok küçük, Planck uzunluğu kadar olduğunu, bu nedenle de bunların fazla kütleçekimi taşıyamayacağını varsayıyorlardı. Bu varsayıma göre kütleçekimi zayıf görünür çünkü zayıftır. Ama şimdi, zar dünyalar senaryosuna bağlı kalarak çalışır ve fazladan boyutların önceden düşünüldüğünden çok daha büyük olmasına izin verirsek, kütleçekiminin gözlenen zayıflığı artık onun yapısal olarak zayıf olduğunu göstermez. Kütleçekimi, göreli olarak güçlü olan ama çok sayıdaki fazladan boyutların, tıpkı büyük borular gibi, onun gücünü sanki azmış gibi gösterdiği bir kuvvet olabilir. Bu düşünüş mantığını izlersek, eğer kütleçekimi, bir zamanlar düşünüldüğünden çok daha güçlü ise, o zaman sicimler de bir zamanlar düşünüldüklerinden çok daha uzun olabilirler.

Günümüzde, sicimlerin tam olarak ne kadar uzun olduğu sorusunun belirli, tek bir cevabı yoktur. Hem sicimlerin büyüklüğü, hem de fazladan

boyutların büyüklüğü konularında önceden düşünüldüğünden daha fazla değişiklik yapılabileceğinin anlaşılmış olmasıyla, birkaç olasılık ortaya çıkmıştır. Dimopoulos ve çalışma arkadaşları, hem parçacık fiziğinden hem de astrofizikten elde edilen sonuçların, uyarılmamış sicimlerin uzunluğunun bir metrenin milyar kere milyarda birinden (10-1B) daha büyük olamayacağını gösterdiğini ileri sürmüşlerdi. Gündelik standartlarla büyük olmakla birlikte, bu Planck uzunluğunun yüz milyon kere milyar (1017) katı, önceden düşünüldüğünün nerdeyse yüz milyon kere milyar kat daha büyük olduğu anlamına gelir. Şimdi göreceğimiz gibi bu, sicimlerin izlerinin parçacık hızlandırıcılarının gelecek kuşağı tarafından saptanabileceği bir büyüklüktür.

Sicim Kuramı Deneyle Yüzleşiyor

Elbette bir üç-zar içinde yaşıyor olabileceğimiz olasılığı gerçekten yalnızca şudur: Bir olasılık. Zar dünyalar senaryosunda fazladan boyutların bir zamanlar düşünüldüğünden çok daha büyük olabileceği olasılığı ve buna bağlı olarak, sicimlerin de bir zamanlar düşünüldüğünden daha büyük olabileceği olasılığı da yalnızca olasılıklardır. Ama bunlar, olağanüstü heyecan verici olasılıklardır. Doğru, zar dünyalar senaryosu doğru olsa bile, fazladan boyutların ve sicimlerin boyutları hâlâ Planck ölçeklerinde olabilir. Ama sicim/M-kuramında sicimlerin ve fazladan boyutların çok daha büyük -günümüz teknolojisinin erişiminin birazcık ötesinde- olmaları olasılığı fantastiktir. Önümüzdeki birkaç yıl içinde sicim/M-kuramının gözlenebilir fizikle en azından bir temasta bulunma ve deneysel bir bilim olma şansının olması demektir.

Ne kadarlık bir şans? Bilmiyorum ama hiç kimse de bilmiyor. Sezgilerim bu olasılığın küçük olduğunu söylüyor ama bu sezgiler on beş yıldan daha uzun süredir Planck büyüklüğündeki sicimlerle ve Planck büyüklüğündeki fazladan boyutlarla çalışmaya koşullanmış durumda. Belki de benim içgüdülerimin modası artık geçmiştir. Neyse ki bu konu artık hiç kimsenin sezgileriyle bağlantılı olmayacak bir şekilde çözülme yolunda: Eğer sicimler büyükse, veya eğer fazladan boyutların bazıları büyükse, bunun gelecekteki deneyler üzerindeki sonuçları gerçekten görülmeye değer olacaktır.

Gelecek bölümde, diğer şeylerin yanısıra, göreli olarak büyük sicimlerin ve fazladan boyutların bulunma olasılıklarını sınayan bazı deneyleri göz önüne alacağız, bu yüzden iştahınızı şimdiden biraz açayım. Eğer sicimler bir metrenin milyar kere milyarda biri kadar (10-18) büyükse, Şekil 12.4'teki daha yüksek harmonik titreşimlere karşı gelen parçacıkların kütleleri, standart senaryodaki gibi çok büyük, Planck kütlesinden daha büyük olmayacaktır. Bunların kütleleri bir protonun kütlesinin bin katı ile birkaç bin katı arasında olacaktır ve bu da, CERN'de şimdi inşa edilmekte olan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın erişebileceği kadar düşüktür. Eğer bu sicim titreşimleri yüksek enerjili çarpışmalar tarafından uyarılıyorlarsa, hızlandırıcıların detektörleri yılbaşı gecesinde Times Meydanındaki kristal küre gibi ışıyacaktır. Şimdiye kadar hiç görülmemiş bir dizi parçacık üretilecek ve bunların kütleleri birbirleriyle tıpkı bir viyolonselin çeşitli harmoniklerinin birbirleriyle ilişkili olduğu gibi, ilişkili olacaktır. Sicim kuramının imzası verilere John Hancock'u bile etkileyecek bir şekilde atılmış olacaktır. Araştırmacıların bunu göz- lüksüz bile gözden kaçırmaları mümkün olmayacaktır.

Üstelik, zar dünyalar senaryosunda, yüksek enerjili çarpışmalar -buna dikkat edin- mini kara delikler bile üretebilirler. Her ne kadar normal olarak biz kara delikleri uzayın derinliklerinde bulunan devasa yapılar olarak düşünüyorsak da, genel göreliliğin ilk günlerinden beri eğer avucunuzda yeterli maddeyi sıkıştırabiliyor olsaydınız minik bir kara delik yaratabileceğiniz biliniyor. Bu olmuyor çünkü hiç kimsenin -ve hiçbir mekanik aracın- sıkması böyle bir sıkıştırma yaratmak için yeterli değil. Kara deliğin oluşması için kabul edilen tek mekanizma, çok büyük kütleli bir yıldızın nükleer kaynaşım (füzyon) süreci sonucu dışarı doğru uyguladığı basıncı yenecek kadar büyük bir kütleçekimi kuvveti uygulayarak yıldızı kendi üzerine çökertmesidir. Ama eğer kütleçekiminin küçük ölçeklerdeki yapısal gücü, önceden düşünüldüğünden çok daha büyükse, minik kara delikler önceden düşünüldüğünden çok daha küçük sıkıştırmalar sonucunda üretiliyor olabilirler. Hesaplar Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nın protonlar arasındaki yüksek-enerjili çarpışmalar yoluyla çok sayıda mikroskobik kara delik yaratmak için yeterli sıkıştırmayı üretebileceğini gösterdi. Büyük Hadron Çarpıştırıcısı mikroskobik kara delikler üreten bir fabrikaya dönüşebilir! Bu karadelikler o kadar küçük olur ve öylesine kısa süre yaşarlar ki, bize en küçük bir tehditte bulunamazlar (yıllar önce Stephen Hawking bütün kara deliklerin kuantum süreçleri yoluyla dağıldığını göstermişti, büyükler çok yavaş, küçükler çok hızlı) ama

bunların üretilmesi, ortaya atılan en egzotik iddialardan bazılarının doğrulanması demek olacak.

Zar Dünyaları Kozmolojisi

Çağdaş araştırmaların dünyanın her tarafındaki bilim insanları (bunların aralarında ben de varım) tarafından sıkı sıkıya izlenen temel bir amacı, kozmolojinin sicim/M-kuramının getirdiği yeni fikirlerle uyuşan bir formülleştirmesini yapmaktır. Bunun nedeni açıktır: Kozmoloji yalnızca büyük, boğazda düğümlenen sorularla boğuşmaz ve biz de yalnızca tanıdık şeylerin -zamanın oku gibi- evrenin doğumu sırasındaki koşullara bağlı olduğunu öğrenmekle kalmadık, kozmoloji bir kuramcıya, New York'un Frank Sinatra ya verdiği şeyi verir: Mükemmel bir kanıtlama arenası. Eğer bir kuram görevini evrenin ilk anlarının karakteristik özelliği olan uç koşullarda yapabiliyorsa, her yerde yapabilecek demektir.

Günümüzde, sicim/M-kuramına göre kozmoloji, araştırmacıların iki temel yola yöneldiği, gelişmekte olan bir çalışmadır. İlk ve daha geleneksel olan yaklaşım, tıpkı şişmenin standart Büyük Patlama kuramına kısa ama önemli bir cephe sağladığı gibi, sicim/M-kuramının da şişmeye belki daha eski ama çok daha önemli bir cephe sağladığını varsayar. Sicim/M-kuramının evrenin ilk anlarını anlamaktaki eksikliğimizi göstermek üzere kullandığımız bulanık bölgenin bulanıklığını gidereceği ve daha sonra da kozmolojik oyunun şişme kuramının çok başarılı senaryosuna göre gelişeceği yolundaki görüş, daha önceki bölümlerde işlenmişti.

Bu görüşün gerektirdiği özel ayrıntılar konusunda ilerleme varsa da (neden evrendeki yalnızca üç boyutun genişlemeye maruz kaldığını anlamaya çalışmak ve şişme öncesinde yaşanmış olabilecek uzaysız/zamansız ortamı çözümlemeye yarayabilecek matematiksel yöntemleri geliştirmek), eureka anları henüz gelmemiştir. Sezgimiz, şişme kozmolojisinin gittikçe daha eski zamanlarda gözlenebilir evrenin gittikçe daha küçük -bu yüzden de daha sıcak, daha yoğun ve daha yüksek enerjili- olduğunu varsayıyor olsa da, sicim/M-kuramının bu dışı (fizik diliyle tekil) davranışı, daha altında yeni ve daha az tekil niceliklerin ortaya çıktığı bir "en küçük" ölçü (350-351.ci sayfalardaki tartışmamız gibi) ortaya koyarak aştığı yolundadır. Bu mantık, sicim/M- kuramının genel görelilikle kuantum mekaniğini başarıyla birleştirmesinin temelinde yer alır ve birçok

araştırmacı kısa bir süre sonra, aynı mantığı kozmoloji bağlamında nasıl uygulayabileceğimizi bulacağımızı umuyor. Ama şimdilik bulanık bölge hâlâ bulanık görünüyor ve ne zaman berraklaşacağı tam olarak bilinmiyor.

İkinci yaklaşımda zar dünyalar senaryosunu kullanılır ve bunun en köktenci t üründe, yepyeni bir kozmolojik yapı ileri sürülürler. Bu yaklaşımın ayrıntılı bir matematiksel çözümleme sonrasında yaşayıp yaşamayacağı henüz açık olmamakla birlikte, temel kuramdaki atılımların iyi bilinen bir alanda nasıl yeni yollar ortaya koyduğunun iyi bir örneğidir. Bu öneri cyclic (yinelenen) kozmoloji adını alır.

Yinelenen Kozmoloji

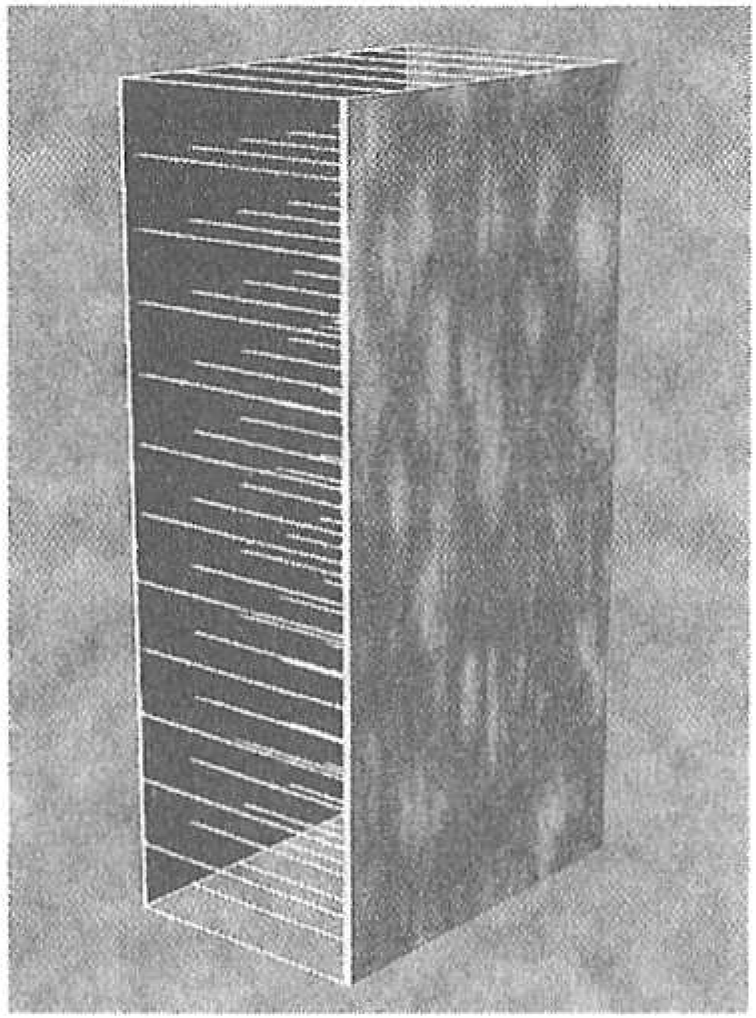
Zaman açısından gündelik yaşantılar bizi iki tür olguyla karşı karşıya getirir: Kesin bir biçimde belirlenmiş bir başı, ortası ve sonu olanlar (bu kitap, bir beysbol maçı, insan hayatı) ve yinelenen, tekrar tekrar olanlar (değişen mevsimler, Güneş'in doğuş ve batışları, Larry King'in evlenmeleri). Elbette daha yakından bakıldığında yinelenmeler genel olarak sonsuza kadar sürmediğinden, yinelenen olguların da bir başı ve bir sonu olduğunu anlarız. Güneş 5 milyar yıldır her gün doğuyor ve batıyor, yani Dünya 5 milyar yıldır hem kendi ekseni çevresinde dönüyor hem de Güneş'in çevresinde dolanıyor. Ama bunun öncesinde Güneş ve güneş sistemi henüz oluşmamıştı. Bir gün, günümüzden yaklaşık beş milyar yıl sonra, Güneş kırmızı dev bir yıldıza dönüşecek, Dünya da içinde olmak üzere bütün iç gezegenleri yutacak ve artık Güneş'in doğması ya da batması gibi bir kavram olmayacak, en azından burada.

Ama bunlar çağdaş bilimsel görüşler. Eskilere göre yinelenen olgular sonsuza kadar yineleniyor gibi görünüyordu. Birçoklarına göre süresini doldurup yeniden başa dönen yinelenen olgular temel olgulardı. Günlerin ve mevsimlerin döngüleri çalışmanın ve hayatın ritmini belirler, bu yüzden en eski yazılı kozmolojilerin, Dünyanın gelişmesine yinelenen bir olgu olarak bakmalarına şaşırmamak gerekir. Yinelenen kozmoloji, belirli bir başlangıç, orta ve son yerine Dünya'nın tıpkı Ay'ın evreleri gibi yinelenen evrelerden geçtiğini varsayar: Bir tam döngüyü yaşadıktan sonra koşullar her şeyin yeniden başlaması ve yeni bir döngüyü başlatması için olgunlaşır.

Genel göreliliğin keşfinden bu yana bazı yinelenen kozmolojik modeller ortaya atıldı; bunlardan en iyi bilineni 1930'larda Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Richard Tolman tarafından geliştirilmişti. Tolman evrenin gözlenen genişlemesinin yavaşlayabileceğim, bir gün durabileceğini ve bunu, evrenin giderek küçüleceği bir büzülme evresinin izleyeceğini öne sürüyordu. Ama kendi üzerine çökerek yok olmak yerine Tolman evrenin sekeceğini öne sürüyordu: Evren büzülerek küçük bir boyuta ulaşabilir ve sonra seker, yeni bir büzülme tarafından izlenecek bir genişleme evresini yeniden başlatır. Bu çevrimi -genişleme, büzülme, sekme, yeniden genişleme vb.- sonsuza kadar yineleyen bir evren, kökenle ilişkili zorlu konulardan zarif bir biçimde kurtulmuş olur: Böyle bir senaryoda köken kavramı uygulanamaz çünkü evren her zaman vardı ve her zaman var olacaktır.

Ama Tolman günümüzden geriye doğru bakıldığında yinelenmelerin bir süre devam etmiş olabileceğini ama süresiz olarak devam edemeyeceğini anlamıştı. Bunun nedeni, her yinelenmede termodinamiğin ikinci yasasının entropinin ortalama olarak artacağını söylemesidir. Ve genel göreliliğe göre, her yinelenme başlangıcındaki entropi miktarı, o yinelenmenin ne kadar süreceğini belirler. Daha fazla entropi, dışarı doğru genişleme yavaşlayıp durmadan ve içeri çöküş başlamadan önce daha uzun süreli bir genişleme dönemi anlamına gelir. Bu nedenle her ardışık çevrim kendinden öncekinden uzun sürer; eşdeğer olarak daha önceki çevrimler giderek daha kısalır. Matematiksel olarak çözümlendiğinde, çevrimlerin sürekli kısalması, bu çevrimlerin geçmişte sonsuza kadar uzanamayacağı anlamına gelir. Tolman'ın yinelenen yapısında bile evrenin bir başlangıcı olmak zorundadır.

Tolman'ın önerisi küresel bir evren gerektiriyordu ki, bu da, görmüş olduğumuz gibi, gözlemler taralından olasılık dışına itilmişti. Ama son zamanlarda düz bir evren gerektiren, yinelenen kozmolojinin kökten yeni bir türü sicim/M-kuramının içinde geliştirilmişti. Fikir Cambridge Üniversitesi'nden Paul Steinhardt ve çalışma arkadaşı Neil Turok'a (Burt Ovrut, Nathan Seiberg ve Justin Khoury ile birlikte yaptıkları çalışmanın sonuçlarını yoğun bir biçimde kullanarak) ait ve kozmik evrimi harekete geçiren, radikal bir biçimde yeni bir mekanizma öneriyor. Araştırmacılar, kısaca her birkaç trilyon yılda bir, bir başka, paralel üç- zarla şiddetle çarpışan bir üç-zar içinde yaşamakta olduğumuzu öne sürüyorlar. Çarpışma sırasında oluşan "patlama", yeni bir kozmolojik döngüyü başlatıyor .

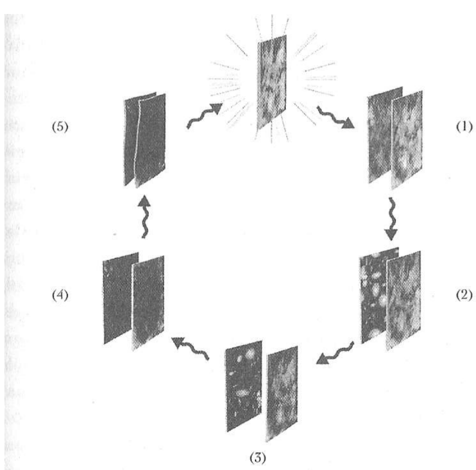


Şekil 13.7 (a) Kısa bir arayla ayrılmış iki üç-boyutlu zar

Önerinin Şekil 13.7'de görülen temeli birkaç yıl önce kozmoloji dışı bir bağlamda Horava ve Witten taralından ortaya atılmıştı. Horava ve Witten, Witten tarafından ileri sürülen beş sicim kuramı arasındaki birliği tamamlamaya çalışıyorlardı. Eğer M-kuramındaki yedi fazladan boyuttan biri çok basit bir şekle sahip ise -Şekil 12.7'deki gibi bir çember değil, Şekil 13.7'deki gibi küçük bir doğru parçası- ve "dünyanın sonu" adı verilen ve kitap kapaklarına benzeyen zarlar tarafından sınırlandırılmışsa, o zaman, Heterotik-E sicim kuramıyla bütün diğerleri arasında doğrudan bir bağlantı kurmak mümkün olur. Bu bağlantıyı nasıl kurdukları açık olmadığı gibi önemli de değildir (ilgileniyorsanız, Evrenin Zarafeti, Bölüm 12 ye

bakabilirsiniz); burada önemli olan, bunun kuramın kendisinden çıkan bir başlangıç noktası olmasıdır. Steinhardt ve Turok bunu kozmolojik önerileri için destek olarak kullandılar.

Özel olarak Steinhardt ve Turok, Şekil 13.7'deki her zarın üç uzay boyutu olduğunu, bunlar arasındaki doğru parçalarının da dördüncü uzay boyutunu oluşturduğunu varsayıyorlar. Geriye kalan altı uzay boyutu da, sicim titreşim desenlerinin bilinen parçacık türlerini açıklayabilmesi için uygun olan Calabi- Yau uzayında (şekilde gösterilmemiştir) kıvrılmış durumdadırlar. Doğrudan haberdar olduğumuz evren bu üç-zarlardan birine karşılık gelir; eğer hoşunuza gidiyorsa ikinci üç-zarı bir başka evren olarak düşünebilirsiniz. Eğer varsa, bu evrende yaşayanlar da, deneysel teknolojileri ve uzmanlıklarının bizimkinden çok ileri olmadığını varsayarsak, yalnızca üç uzay boyutundan haberdar olacaklardır. Bu durumda diğer üç-zar -diğer evren- hemen yakınımızda demektir. Bu evren milimetrenin küçük bir kesri kadar bir uzaklıkta havada duruyor (aradaki uzaklık, Şekil 13.7'deki gibi, dördüncü uzay boyutudur) ama bizim üç-zarımız o kadar yapışkan ve hissettiğimiz kütleçekimi o kadar zayıf ki, ne bizim bu evrenin varlığı konusunda doğrudan bir kanıtımız var, ne de diğer evrenin olası sakinlerinin bizim hakkımızda doğrudan kanıtları olabilir.



Şekil 13.8 Döngüsel zar-dünya kozmoloji modelinde çeşitli aşamalar

Ama Steinhardt ve Turok'un yinelenen kozmolojik modeline göre, Şekil 13.7, her şeyin şimdiye kadar nasıl olduğunu ve bundan sonra nasıl

olacağını göstermez. Onların yaklaşımında, iki tane üç-zar birbirine doğru çekilir -sanki minik lastik bantlarla birbirlerine bağlanmışlar gibi- ve bu da her birinin, diğerinin kozmik evrimini etkilediği anlamına gelir: Zarlar sonsuz bir yaklaşma, çarpışma, uzaklaşma, yeniden çarpışma çevrimindedirler, sonsuza kadar, genişlemekte olan dünyalarını yeni baştan üretirler. Bunun nasıl olduğunu görmek için, tam bir çevrimi adım adım gösteren Şekil 13.8'e bakın. 1. Evre de iki tane üç-zar birbirlerine doğru çekilmişler, çarpışmışlar ve yeniden uzaklaşmak üzereler. Çarpışmanın devasa enerjisi birbirlerinden geri seken her iki üç-zarda da önemli miktarda yüksek- sıcaklıkta ışınım ve madde birikmesine neden olur ve -önemli nokta buradadır- Steinhardt ve Turok bu madde ve ışınımın ayrıntılı özelliklerinin, şişme modelinde üretilenlerle hemen hemen aynı olduğunu iddia ediyorlar. Her ne kadar bu konu üzerinde hâlâ biraz tartışma var ise de, Steinhardt ve Turok bu yüzden iki tane üç-zar arasındaki çarpışmanın, Bölüm 10 da incelenen daha konvansiyonel şişme genişleme patlamasından bir an sonra sahip olacakları fiziksel koşulların çok benzerlerine sahip olmalarıyla sonuçlanacağını öne sürüyorlar. O zaman, bizim üç-zarımızdaki varsayımsal bir gözlemci için sürpriz olmayacak biçimde, yinelenen kozmolojik modeldeki diğer birkaç evre, temel olarak Şekil 9.2'de gösterilmiş olan standart yaklaşımdakilerle temelde aynıdır (o şekli şimdi iki tane üç-zarın evrimini gösteriyor olarak yorumluyoruz). Yani bizim üç-zarımız çarpışmadan sonra geri sekerken genişler ve soğur, bu arada 2. Evrede görebileceğiniz şekilde, ilkel plazmadan yıldız ve galaksi gibi kozmik yapılar oluşur. Daha sonra, Bölüm 10'da incelenen son süpernova gözlemlerinin verdiği esinle, Steinhardt ve Turok modellerini 7 milyar yıl sonra -3. Evre- bildiğimiz madde ve ışınımdaki enerjinin, zarın genişlemesiyle yeterince zayıflayacağı ve bir karanlık enerji bileşeninin baskın geleceği ve onun negatif basıncının ivmeli bir genişleme başlatacağı şekilde kuruyorlar. (Bu, ayrıntıların keyfi olarak ayarlanmasını gerektirir ama modelin gözlemle uyuşmasını sağlar ve bu yüzden de yinelenen modeli ortaya atanların güdülenmeleri yüksektir.) Yaklaşık 7 milyar yıl sonra, biz insanlar, en azından şu andaki çevrimde, kendimizi yeryüzünde bulur ve ivmeli evrenin ilk dönemlerini yaşarız. Daha sonra, kabaca gelecek trilyon yılda, bizim üç- zarımızın süren ivmeli genişlemesi dışında yeni pek bir şey olmaz. Bu da bizim üç-boyutlu uzayımızın devasa bir faktörle gerilmesi, bu yolla da madde ve ışınımın neredeyse yok oluncaya kadar seyrelmesi ve geriye neredeyse tümüyle boş ve tümüyle birörnek gibi görünen bir zar dünyası bırakmasına yetecek kadar uzundur: 4. Evre.

Bu noktada üç-zarımız ilk çarpışma sonrası geri sekmesini tamamlamış ve diğer üç-zara doğru yeniden yaklaşmaya başlamıştır. Diğer çarpışmaya giderek yaklaşırken, bizim zarımıza bağlı olan sicimlerin kuantum titreşimleri, onun boşluğunu minik dalgacıklarla doldurur, 5. Evre. Biz hızlandıkça, dalgacıklar da büyümeye devam eder; sonra şiddetli bir şekilde diğer üç-zarla çarpışır ve geri sekeriz, çevrim de yeniden başlar. Kuantum dalgacıkları, çarpışma sırasında ortaya çıkan ışınım ve maddede minik türdeşlik bozukluklarına neden olur ve tıpkı şişme senaryosunda olduğu gibi, bu mükemmel birörneklikten sapışlar kümelenmelere dönüşür ve sonuçta yıldız ve galaksileri oluştururlar.

Bunlar, yinelenen modeldeki ana evrelerdir. Ön koşulu -çarpışan zar dünyalar- başarılı şişme modelininkinden çok farklıdır ama yine de iki yaklaşım arasında önemli temas noktaları vardır. Bu temel benzerliklerden biri her ikisinin de başlangıçtaki birörneklik bozukluklarının yaratılmasını kuantum çalkantılarına bağlamasıdır. Gerçekten de Steinhardt ve Turok, yinelenen modeldeki kuantum dalgacıklarını yöneten denklemlerin, şişme modelindekilerle hemen hemen aynı olduğunu, bu yüzden iki kuramın sonuçta ortaya çıkacağını hesapladıkları birörneklik bozukluklarının da neredeyse aynı olduğunu öne sürüyorlar." Üstelik, yinelenen modelde bir şişme patlaması olmasa da, trilyon yıl süreli, (3.Evrede başlayan) daha yumuşak bir ivmeli genişleme vardır. Ama bu gerçekten bir acele ya da sabır sorunudur; şişme modelinin bir patlamada elde ettiğini yinelenen model neredeyse göreli olarak sonsuz bir zamanda elde eder. Yinelenen modeldeki çarpışma evrenin başlangıcı olmadığı için, kozmolojiye ilişkin konuları (düzlük ve ufuk problemi gibi), her önceki çevrimin son trilyon yıllarında yavaş yavaş çözme lüksü vardır. Her yinelenmenin sonundaki uzun süren yumuşak ama sürekli ivmeli genişleme, üç-zarımızı güzel ve düz bir biçimde gerer ve minik ama önemli bir kuantum dalgalanması dışında onu son derece birörnek hale getirir. Her çevrimin sonunda, diğer çevrimin başındaki bir çarparak yamyassı oluş tarafından izlenen uzun, son aşaması, şişme yaklaşımındaki kısa süreli şiddetli genişlemenin ortaya çıkardığına çok benzer bir ortama yol açar.

Kısa Bir Değerlendirme

Şu andaki gelişme düzeyleriyle hem şişme modeli hem de yinelenen model, kozmolojik yapıların kavranmasını sağlar ama hiçbiri tam bir kuram

ortaya koymaz. Evrenin ilk anlarındaki baskın koşulları bilmemek, şişme kozmolojisini önerenleri, kuramsal doğrulama olmaksızın, şişmenin başlamasını gerektiren koşulların ortaya çıktığını varsaymaya zorlar. Eğer bu koşullar ortaya çıktıysa, kuram pek çok kozmolojik bilmeceyi çözer ve zamanın okunu başlatır. Ama böyle başarılar ilk planda şişmenin olmasına bağlıdır. Üstelik şişme kozmolojisi sicim kuramının içine dikişsiz bir şekilde gömülü olmadığı için, henüz kuantum mekaniği ve genel göreliliğin tutarlı bir birleşiminin bir parçası değildir.

Yinelenen modelin de kendine has eksiklikleri vardır. Tolman'ın modelinde olduğu gibi, entropi birikmesi (ve kuantum mekaniğinin göz önüne alınması) yinelenen modelin yinelenmelerinin sonsuza kadar sürememesine neden olur. Yinelenmeler geçmişte, belirli bir zamanda başlar ve şişmede olduğu gibi, ilk çevrimin nasıl başladığını açıklamak zorunda kalırız. Eğer başladıysa, o zaman kuram, yine şişmede olduğu gibi, temel kozmolojik problemleri çözer ve zamanın okunun her düşük-entropili çarpışmadan başlayarak ileriye, Şekil 13.8'deki evrelere doğru yönlenmesini sağlar. Ama şimdilerde düşünüldüğü gibi, yinelenen model evrenin neden ve nasıl kendini Şekil 13.8 için gerekli olan bir durumda bulduğu sorusuna bir açıklık getirmez. Örneğin, neden fazladan boyutların biri görevini yapar biçimde iki tane üç-zarı ayıran bir uzaysal parça şeklini alırken altı boyut kendilerini özel bir Calabi-Yau şeklinde kıvırıyor? Nasıl oluyor da dünyanın-sonu üç-zarlar mükemmel bir şekilde hizalanıyor ve birbirlerini tam olması gereken kuvvetle çekerek Şekil 13.8'deki evrelerin anlattığımız gibi ilerlemelerine neden oluyor? Ve kritik önemde bir soru olarak, yinelenen modelin patlamasında iki tane üç-zar çarpıştığında gerçekte ne oluyor?

Bu son soruda, yinelenen modeldeki çarpmanın şişme kozmolojisinde sıfır anında karşılaşılan tekillikten daha az sorunlu olacağı umudu vardır. Uzayın tümünün sonsuz derecede sıkışması yerine, yinelenen yaklaşımda zarlar arasındaki tek boyut sıkıştırılır; her yinelenmede zarların kendileri sıkışmaz, tam tersine genel olarak genişlerler, işte Steinhardt, Turok ve çalışma arkadaşları bunun, zarların kendilerinde sonlu sıcaklığa ve sonlu yoğunluğa sahip olmalarını gerektirdiğini öne sürüyorlar. Ama bu, geçici bir sonuçtur çünkü şimdiye kadar hiç kimse denklemlerden daha iyi bir şey elde edememiş ve zarlar birbirleriyle çarpıştığında tam olarak ne olduğunu ortaya koyamamıştır. Gerçekten, şu ana kadar tamamlanan çözümlemeler, çarpmanın şişme kuramındaki sıfır anındaki problemin bir benzeriyle

karşılaştığını gösteriyor: Matematik çöküyor. Bu yüzden, ister evrenin gerçek başlangıcı, isterse şimdiki yinelenmenin başlangıcı olsun, kozmolojinin tekil başlangıç konusuna kesin bir çözüm getirmesi gereği vardır.

Yinelenen modelin en zorlayıcı özelliği, karanlık enerjiyi gözlenen ivmeli genişlemeyle birleştirme yoludur. 1998'de, evrenin ivmelenerek genişlediği keşfedildiğinde, bu, birçok fizikçi ve astronom için sürpriz olmuştu. Karanlık enerji, evrenin tam, doğru miktarda karanlık enerji içerdiği varsayılarak şişme kozmolojik yapısının içine katılabilirse de, ivmeli genişleme hantal bir yama gibi duruyor. Yinelenen modelde, tersine, karanlık enerjinin rolü doğal ve çok önemlidir. Karatahtayı silmek, gözlenebilir evreni hiçlik sınırına kadar seyreltmek ve koşulları gelecek yinelenmeye hazırlamak için trilyon-yıl süren yavaş ama sürekli ivmelenen bir genişlemenin hayati önemi vardır. Bu açıdan, hem şişme modeli hem de yinelenen model ivmeli genişlemeye dayanır -şişme modeli başlangıca yakın ve yinelenen model her çevrimin sonunda- ama doğrudan gözlemsel kanıtı olan, ikincisidir. (Yinelenen yaklaşımın, bizim tam şimdi trilyon yıllık ivmeli genişleme evresine girmekte olduğumuz şeklinde tasarlandığını, böylesi bir genişlemeninse son dönemde gözlendiğini hatırlayın.) Bu, yinelenen modelin hanesine yazılmış bir artıdır, ama aynı zamanda, eğer ivmeli genişleme gelecekteki gözlemler tarafından doğrula- namazsa, şişme modelinin yaşayabileceği (her ne kadar evrenin enerji bütçesinin kayıp olan yüzde 70'i bilmecesi yeniden ortaya çıkacaksa da) ama yinelenen modelin varlığını sürdüremeyeceği anlamına gelir.

Uzay Zamana İlişkin Yeni Algılamalar

Zar dünyalar senaryosu ve onun ürettiği yinelenen kozmoloji modeli son derece tartışmaya açıktır. Bunları burada doğru oldukları konusunda emin olduğum için değil, içinde yaşadığımız uzay ve onun geçirdiği evrim konularında sicim/M-kuramının esinlendiği, çarpıcı yeni yolları göstermek istediğim için tartışmaya açtım. Eğer bir üç-zarın içinde yaşıyorsak, o zaman üçboyutlu uzayın fizikselliğine ilişkin soru, en kesin cevabına kavuşur: Uzay bir zar olur, böylece de kesinlikle "bir şey" olur. Değişik boyutlarda, sicim/M-kuramının daha yüksek-boyutlu açılımında yer alan pek çok başka zar olacağı için, özel bir şey de olmayabilir. Eğer bizim üç-zarımız üzerindeki kozmolojik evrim, yakındaki bir başka zar ile süre giden

çarpışmalar tarafından yönlendiriliyorsa, bildiğimiz zaman evrenin pek çok çevriminden yalnızca birini kapsayacak, bir büyük patlamayı bir diğeri, sonra bir diğeri izleyecektir.

Bana göre, bu hem heyecan verici, hem de alçakgönüllü olmamızı gerektiren bir görüştür. Beklediğimizden çok daha uzay ve zaman olabilir; eğer varsa, "her şey" olarak göz önüne aldıklarımız, çok daha zengin bir gerçekliğin çok küçük bir bölümü olabilir.

5 – GERÇEKLİK VE HAYAL GÜCÜ

XIV. Bölüm - Yukarıda Göklerde ve Aşağıda Yerde

Uzay ve Zamanla Deneyler

Empedocles ve Agrigento'nun evreni toprak, hava, ateş ve suyla la açıkladığından bu yana çok yol aldık. Newton'dan yirminci yüzyılın devrimci keşiflerine kadar kaydettiğimiz ilerlemelerin çoğu, gösterişli bir biçimde kesin kuramsal öngörülerin deneylerce doğrulanması şeklinde ortaya çıkmıştır. Ama 1980'lerin ortalarından bu yana, kendi başarımızın kurbanı olduk. Kavrayışımızın sınırlarını durmak bilmeksizin daha ötelere itmesiyle kuramlarımız, çağdaş teknolojimizin erişemediği alanlara girdiler.

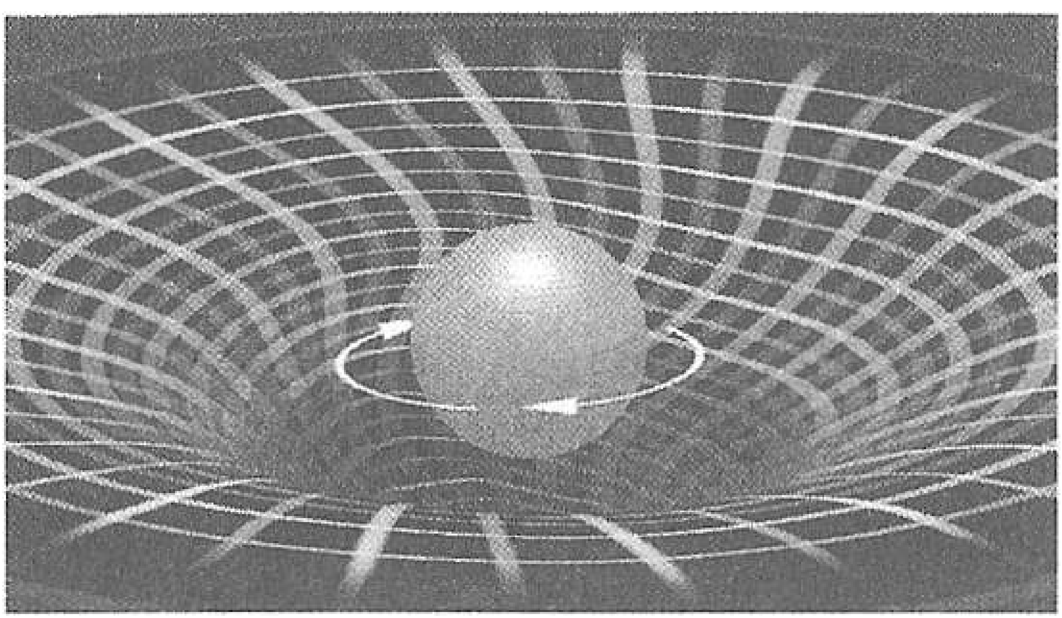
Bununla birlikte, biraz çaba ve şansın yardımıyla, birçok uç fikir önümüzdeki birkaç on yılda sınanabilecektir. Bu bölümde inceleyeceğimiz gibi, planlanan ya da gerçekleşme aşamasında olan deneyler fazladan boyutlar, karanlık madde ve karanlık enerjinin bileşimi, kütlenin ve Higgs okyanusunun kökeni, evrenin ilk dönemlerinin kozmolojik özellikleri, süpersimetrinin ilişkisi ve büyük olasılıkla sicim kuramının kendisinin doğruluğu konularında çok daha fazla fikir verme potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, biraz da şansın yardımıyla, birleştirme, uzay ve zamanın doğası ve bizim kozmik kökenimiz belki de sonunda sınanabilecektir.

Sürüklenen Einstein

Genel göreliliği formülleştirmek için on yıl süren savaşımında Einstein, çok çeşitli kaynaklardan esinlendi. Hepsinin en etkilisi, on dokuzuncu yüzyılda aralarında Carl Friedrich Gauss, Janos Bolyai, Nikolai Lobachevsky ve Georg Bernhard Riemann'ın da bulunduğu parlak matematikçiler tarafından geliştirilen, bükülmüş şekillerin matematiği ile ilgili görüşlerdi. Bölüm 3'te incelediğimiz gibi Einstein, Ernst Mach'ın görüşlerinden de esinlenmişti. Mach'ın ilişkisel uzay kavramını savunduğunu hatırlayın: Ona göre uzay bir cismin diğerine göre yerinin belirlenmesini sağlayan bir dil oluşturuyordu ama kendisi başlı başına bağımsız bir varlık değildi. Başlangıçta Einstein, Mach'ın bakış açısını heyecanla destekliyordu, çünkü göreliliği bir kuramın olabileceği kadar göreliydi. Ama Einstein'in genel görelilik kavrayışı derinleştikçe, göreliliğin Mach'ın fikirlerini tam olarak paylaşmadığını fark etti . Genel

göreliliğe göre, bomboş bir evrende dönmekte olan Newton'un kovasındaki su içbükey bir şekil alacaktı ve bu da, mutlak bir ivme kavramı öngördüğü için Mach'ın tümüyle ilişkisel bakış açısıyla çelişiyordu. Bu durumda bile, genel görelilik Mach'ın görüşlerinin bazı yönlerini paylaşmaktadır ve gelecek birkaç yılda, kırk yıla yakın bir süredir geliştirilmekte olan 500 milyon dolarlık bir deney, Mach'ın görüşlerinin en parlak özelliklerinden birini sınamaya hazırlanmaktadır.

İncelenecek fizik, Joseph Lense ve Hans Thirring adlı Avusturya'lı araştırmacıların, genel göreliliği kullanarak büyük kütleli bir cismin uzayı eğrilttiğini -bir trampolin üzerinde duran bir bowling topu gibi- ve bu nedenle de dönen cisimlerin uzayı (ve zamanı), tıpkı bir kova suya atılan dönmekte olan bir taşın suyu sürüklediği gibi sürüklediğini gösterdikleri 1918 yılından beri biliniyor. Bu olay yapı sürüklenmesi olarak bilinir ve örneğin hızla dönmekte olan bir nötron yıldızına doğru serbestçe düşen bir asteroidin, dönmekte olan uzayın yarattığı anafora kapılacağını ve nötron yıldızının yüzeyine doğru yoluna devam ederken döneceğini ima eder. Bu etkiye yapı sürüklenmesi adı verilmiştir çünkü asteroidin bakış açısından bakıldığında asteroid dönerek düşmemektedir. Uzaysal bir ızgara boyunca doğrudan düşmektedir ama uzay döndüğü için (Şekil 14.1'de olduğu gibi) ızgara da bükülür, bu yüzden de "doğrudan aşağı"nın anlamı uzak, dönmeyen bir perspektiften bakılana göre farklılaşır.



Şekil 14.1 Dönmekte olan büyük kütleli cisimler uzayı, serbestçe düşmekte olan cisimleri çevrelerinde döndürerek sürükler.

Mach'a olan bağlantıyı görebilmek için, dönmekte olan büyük kütleli cismin içi boş olan dev bir küre olduğu bir yapı sürüklenmesini düşünün. Einstein tarafından 1912'de (henüz genel göreliliği bile tamamlamadan önce) başlatılan, 1965'te Dieter Brill ve Jeffrey Cohen tarafından sürdürülen ve sonunda 1985'te Herbert Pfister ve K. Braun adlı Alman fizikçiler tarafından tamamlanan hesaplar, boş kürenin içindeki uzayın da dönme hareketi sonucunda sürükleneceğini ve anafor benzeri bir dönme hareketi oluşturacağını göstermiştir. Eğer içi su dolu olan durağan bir kova -uzaktaki bir gözlemcinin bakış açısına göre durağan- dönmekte olan böyle bir kürenin içine konursa, hesaplar dönen uzayın durağan su üzerinde bir kuvvet uygulayacağını ve suyun kovanın kenarlarında yükseleceğini ve yüzeyinin içbükey bir şekil alacağını göstermiştir.

Bu sonuç Mach'ın hoşuna giderdi. Her ne kadar "dönen uzay" tanımlamasını beğenmese de -çünkü bu tanım uzayı bir şey olarak kabul ediyor- küre ve kova arasındaki göreli hareketin su yüzeyinin şeklinin değişmesine neden olmasından hoşlanırdı. Gerçekten, yapılan hesaplar bütün evrenin içerdiği kadar kütleye sahip olan içi boş bir küre için, kürenin mi kovanın dışında döndüğünü yoksa kovanın mı kürenin içinde döndüğünü düşünmenizin bir önemi olmadığını gösteriyor. Mach'ın savunduğu gibi, önemli olan tek şey ikisinin arasındaki göreli harekettir. Sözünü ettiğim hesaplar genel görelilikte kullanılanlardan başkası olmadığı için bu, Einstein'ın kuramının Mach'çı yanını gösteren açık bir örnektir. (Bununla birlikte, standart Mach'çı düşünüş, kovanın sonsuz, boş bir evrende dönüyor olması halinde su yüzeyinin düz kalacağını öne sürerse de genel görelilik bu görüşe katılmaz. Pfister ve Braun'un sonuçlarının gösterdiği şey, dönmekte olan yeterince büyük kütleli bir kürenin, dışarıdaki uzayın etkilerini tümüyle engelleyebildiği yolundadır.)

1960'ta, Stanford Üniversitesi'nden Leonard Schiff ve A.B.D Savunma Bakanlığı'ndan Goerge Pugh birbirlerinden bağımsız olarak genel görelilikteki "uzay sürüklenmesi" fikrinin Dünya'nın dönme hareketi kullanılarak deneysel olarak doğrulanabileceğim öne sürdüler. Schiff ve Pugh, Newton fiziğine göre, Dünya'nın yörüngesinde dolanan, dönmekte olan bir jiroskopun -belirli bir eksen çevresinde dönen bir tekerlek- sabit bir yönü göstereceğini anlamışlardı. Ama genel göreliliğin hesaplarına göre jiroskopun ekseni, Dünya'nın dönerken çevresindeki uzayı sürüklemesi nedeniyle hafifçe yön değiştirecekti. Dünya'nın kütlesi, Pfister ve Braun'un hesaplarında kullandıkları varsayımsal, içi boş

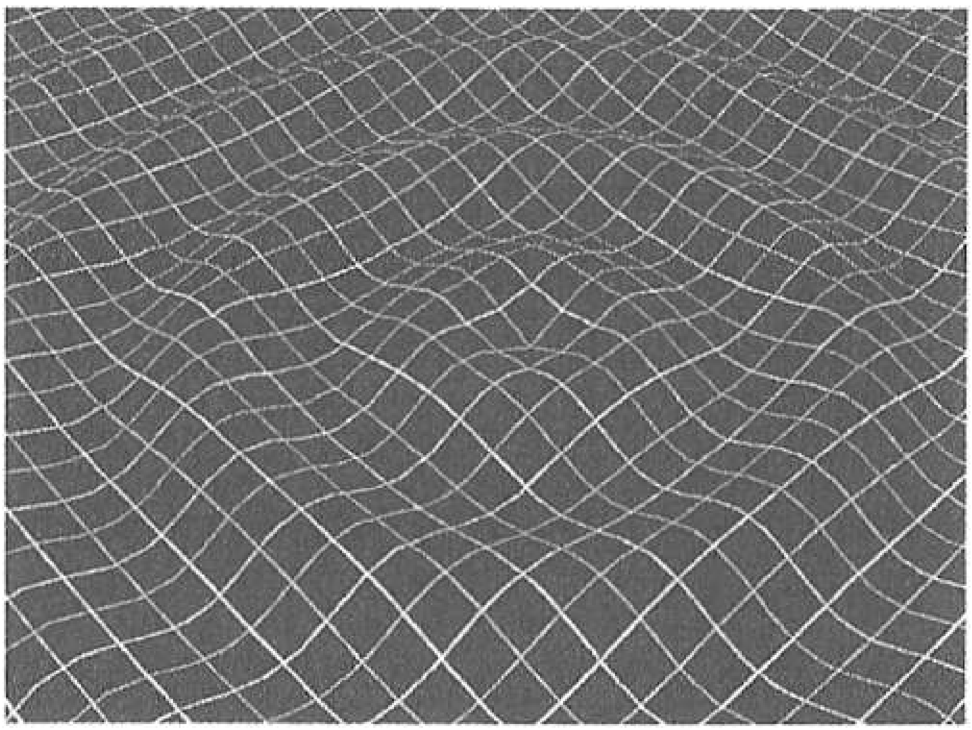
kürenin kütlesi yanında çok küçük olduğundan, Dünya'nın dönmesinden kaynaklanan uzay sürüklenmesi çok çok küçüktür. Ayrıntılı hesaplar gösterdi ki, eğer jiroskopun ekseni başlangıçta bir yıldızı gösterecek şekilde ayarlanmış olsa, bir yıl sonra yavaşça sürüklenen uzay, ekseni bu yönden bir derecenin yüz binde biri kadar saptırabilecekti. Bu da bir saat yelkovanının milyonda iki saniyede süpüreceği bir açı olduğu için, bize önemli bir bilimsel, teknolojik ve mühendislik problemi sunar.

Kırk yıllık gelişme ve yaklaşık yüz doktora çalışması sonrasında Francis Everitt tarafından yönetilen ve mali olarak NASA tarafından desteklenen bir Stanford ekibi bu deneyi yapmaya hazırdı. Birkaç yıl sonra, bu ekibin hazırladığı, yeryüzünden yaklaşık 600 km yukarıdaki yörüngesinde dolanan ve o zamana kadar yapılmış en hassas dört jiroskobu taşıyan Kütleçekimi Sondası B adlı uydu, Dünya'nın dönmesinden kaynaklanan uzay sürüklenmesini ölçme girişiminde bulunacaktır. Eğer deney başarılı olursa, genel göreliliğin günümüze kadar elde edilmiş en hassas deneysel doğrulamasını yapmış olacak ve Mach'çı etkinin ilk doğrudan kanıtını ortaya koymuş olacaktır. Aynı derecede heyecan verici bir başka olasılık da deneylerde, genel göreliliğin hesaplarından bir sapma bulunmasıdır. Genel göreliliğin temellerinde ortaya çıkabilecek böylesi minik bir çatlak, belki de uzay-zamanın şimdiye kadar gizli kalmış olan özelliklerine bir göz atmak için ihtiyacımız olan bir şeydir.

Dalgayı Yakalamak

Genel görelilikten çıkarılacak temel ders, kütle ve enerjinin uzay-zamanın dokusunu eğrilttiğidir; bunu Şekil 3.10'da Güneş'in çevresini eğrilmiş olarak çizerek göstermiştik. Durağan şeklin bir eksikliği, kütle veya enerjinin dağılımı bir şekilde değiştiğinde uzaydaki eğrilmelerin nasıl değiştiğini gösterememesidir. Genel görelilik, tıpkı bir trampolinin üzerinde sabit durduğunuzda değişmeyen bir şekil alması ama yukarı sıçrayıp aşağı düştüğünüzde şeklini değiştirmesi gibi madde durağan olduğunda uzayın da Şekil 3.10'da görüldüğü gibi eğrilmiş ama sabit bir şekil aldığını, ama madde hareket ettikçe uzayın dokusunda dalgacıkların yayılacağını öngörür. Einstein bu kavrayışa 1916 ve 1918'de, yeni bulduğu genel görelilik denklemlerini kullanarak -tıpkı bir anten üzerinde aşağı-yukarı hareket eden elektrik yüklerinin elektromanyetik dalgalar üretmesi gibi (radyo ve televizyon dalgalan böyle üretilir)- şu veya bu yöne hareket eden maddenin de (bir süpernova patlamasında olduğu gibi) kütleçekimi dalgalan üreteceğini gösterdiğinde ulaşmıştı. Kütleçekimi eğrilik demek olduğu için, kütleçekimi

dalgası da bir eğrilik dalgasıdır. Nasıl havuza atılan bir çakıl taşı, dışarı doğru yayılan dalgacıklar oluştururusa, dönen madde de dışarı doğru yayılan uzaysal dalgacıklar oluşturur; genel göreliliğe göre uzaklardaki bir süpernova patlaması, Şekil 14.2'de gösterildiği gibi, uzay-zaman havuzuna atılan kozmik bir çakıl taşı gibidir. Şekil kütleçekimi dalgalarının önemli, ayırt edici bir özelliğini gösteriyor: Elektromanyetik dalgalardan, ses ve su dalgalarından farklı olarak -bunlar uzayda yayılan dalgalardır- kütleçekimi dalgaları uzayın kendisindedir. Bunlar uzay-zamanın geometrisinin hareket eden çarpılmaları veya eğrilmeleridir.



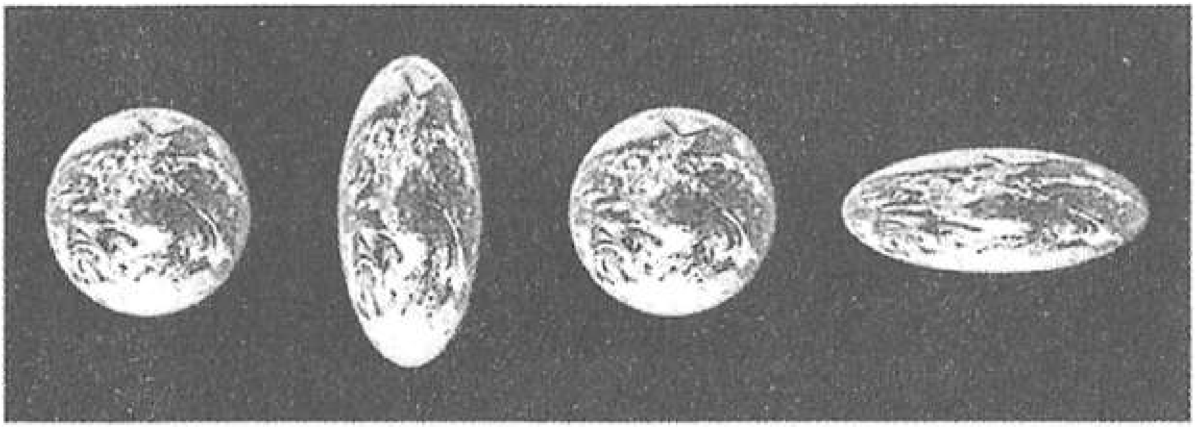
Şekil 14.2 Kütleçekimi dalgaları uzay-zamanın dokusundaki dalgacıklardır.

Kütleçekimi dalgaları artık genel göreliliğin kabul edilmiş bir öngörüsü olsa da, yıllar boyunca bu konu, en azından kısmen Mach'çı felsefeye yakınlığı nedeniyle kafa karışıklıklarına ve tartışmalara neden olmuştur. Eğer genel görelilik Mach'ın fikirleriyle tam olarak uyuşsaydı, o zaman "uzay-zamanın geometrisi" yalnızca büyük kütleli bir cismin konumunu ve hareketini bir diğerine göre ifade etmek için uygun olan bir dil olacaktı. Bu düşünüş biçimine göre boş uzay, boş bir kavram olurdu, bu durumda boş uzayın dalgalanmasından nasıl anlamlı bir şekilde söz edilebilirdi? Birçok fizikçi

uzayda varlığı önerilen dalgaların genel göreliliğin matematiğinin yanlış yorumlanmasından kaynaklandığını kanıtlamaya çalıştı. Ama bu arada kuramsal çözümlemeler bir doğru sonuçta odaklandı: Kütleçekimi dalgaları gerçektir ve uzay dalgalanabilir.

Her geçen dalga tepesi ve çukuruyla, bir kütleçekimi dalgasının çarpılan geometrisi uzayı -ve içindeki her şeyi- dikey bir doğrultuda, Şekil 14.3'te abartılı bir biçimde gösterildiği gibi gerer, ilke olarak kütleçekimi dalgalarının geçişini, çeşitli konumlar arasındaki uzaklıkları sürekli olarak ölçerek ve bu uzaklıkların oranlarının anlık olarak değiştiğini bulmak yoluyla saptayabilirsiniz.

Pratikte bunu hiç kimse yapamamıştır, bu yüzden hiç kimse bir kütleçekimi dalgasını doğrudan gözlemleyememiştir. (Bununla birlikte, kütleçekimi dalgalan için inandırıcı, dolaylı kanıtlar vardır.) Güçlük, geçen bir kütleçekimi dalgasının çarpıtma etki-sinin miktarının tipik olarak çok küçük olmasıdır. Trinity'de 16 Temmuz 1945'te denenen 20 kiloton TNT'ye eşdeğer atom bombası o kadar parlaktı ki, ürettiği elektromanyetik dalganın gözlerine zarar vermemesi için kilometrelerce uzaktaki gözlemcilerin koruyucu gözlük takması gerekmişti. Buna rağmen, eğer üzerine bombanın konduğu 30 metrelik çelik kulenin hemen altında bulunsaydınız bile, patlamanın yarattığı kütleçekimi dalgaları vücudunuzu bir yönde ya da diğerinde bir atom çapının çok küçük bir kesri kadar minik bir miktarda gerebilirdi. Kütleçekimsel bozulmalar göreli olarak işte bu kadar küçüktür ve bu da saptanmaları ile ilgili teknolojik zorluklar konusunda bir ipucu verir. (Kütleçekimi dalgası eşgüdümlü bir şekilde hareket eden devasa miktarda graviton olarak da düşünülebileceği için -tıpkı elektromanyetik dalganın eşgüdüm altında hareket eden devasa sayıda fotonlardan oluşması gibi- bu, aynı zamanda tek bir gravitonu saptamanın ne kadar zor olduğu hakkında da bir fikir verebilir.)



Şekil 14.3 Geçen bir kütleçekimi dalgası bir cismi önce bir yönde sonra diğer yönde gerer. (Bu görüntüde tipik bir kütleçekimi dalgasının yaratacağı çarpıtma büyük ölçüde abartılmıştır.)

Elbette biz nükleer silahlar tarafından üretilen kütleçekimi dalgalarıyla ilgilenmiyoruz ama astrofiziksel kaynaklarda da durum daha kolay değildir. Astrofiziksel kaynak ne kadar yakın ve büyük kütleli olursa ve madde hareketi ne kadar şiddetli ve enerjik olursa, alacağımız kütleçekimi dalgaları o kadar kuvvetli olur. Ama 10.000 ışık yılı uzaklıktaki bir yıldızda bir süpernova patlaması olsa bile, ortaya çıkan kütleçekimi dalgaları Dünyaya ulaştıklarında bir metrelik bir çubuğu bir santimetrenin milyon kere milyarda biri kadar uzatabilir ki, bu da bir atom çapının neredeyse yüzde biri kadardır. Bu yüzden, göreli olarak yakında hiç beklenmedik çok şiddetli bir astrofiziksel olay olmadıkça, kütleçekimi dalgalarını saptamak için olağanüstü küçük uzunluk değişimlerini ölçebilecek bir araca ihtiyacımız var.

Lazer Interferometre Kütleçekimsel Dalga Gözlemevini (Laser Interfereometer Gravitational Wave Observatory, LIGO) (Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü ve Massachusetts Teknoloji Enstitüsü taralından ortak olarak işletilmekte ve Ulusal Bilim Vakfı'nca mali olarak desteklenmektedir) tasarlayıp yapan bilim insanları çıtayı yükselttiler. LIGO etkileyicidir ve beklenen hassasiyet çarpıcıdır. Her biri dört kilometre uzunluğunda ve bir metreden biraz daha büyük çaplı iki boru L şeklinde monte edilmiştir. Havası boşaltılmış bu tüplerde aynı anda iki lazer ışını gönderilmekte ve bu ışınlar çok iyi parlatılmış aynalardan yansıyarak tüplerin göreli uzunluğunu olağanüstü yüksek bir hassasiyetle ölçmektedir. Fikir, eğer bir kütleçekimi dalgası geçerse, tüplerden birini diğerine göre uzatacağı için, eğer bu uzama yeterince fazlaysa gözlemcilerin bunu saptayabilecekleri üzerine kuruludur.

Kütleçekimi dalgasının yarattığı uzama ve büzülme birikmeli olduğu için tüplerin boyu uzun tutulmuştur. Eğer bir kütleçekimi dalgası dört metrelik bir tüpü, diyelim 10-20 metre uzatırsa, dört kilometrelik bir tüpü bin kat, yani 10-17 metre uzatacaktır. Bu yüzden izlenen uzunluk ne kadar büyük olursa, bu uzunluktaki bir değişikliği saptamak da o kadar kolay olur. Buna yatırım yapmak için LIGO deneycileri aslında her tüpün uçlarındaki aynalarda lazer ışınlarının yüz kereden fazla yansımasını ve böylece izlenen uzunluğun her lazer demeti için 800 kilometreden uzun olmasını sağlıyorlar. Böylesi zekice tasarlanmış mühendislik hileleriyle LIGO, tüplerin uzunluğunda ortaya çıkabilecek olan, insan saçının trilyonda biri kadar bir değişikliği -bir atomun çapının yüz milyarda biri- saptayabilecektir.

Aslında bu L şeklindeki deney araçlarından iki tane var. Birisi Louisiana'daki Livingston'da, diğeri ise 3000 kilometreden daha uzakta, Washington'daki Hanford'da. Eğer uzaktaki astrofiziksel kaynaklardan birinin yarattığı bir kütleçekimi dalgası Dünyaya ulaşırsa, her iki detektörü de aynı şekilde etkileyecektir, bu yüzden detektörlerden birinin algıladığı bir dalgayı diğeri de algılamalıdır. Detektörlerin yalıtılması için harcanan bütün çabalara rağmen gündelik hayatta oluşan sarsıntılar (geçen kamyonların sarsıntıları, büyük zincirli testerelerin etkileri, yıkılan ağaç gövdelerinin sarsıntıları vb.) kütleçekimi dalgaları olarak algılanabilir. İki detektör arasında eşzamanlılık aranması bu sahte alarmların önüne geçebilir.

Araştırmacılar, aralarında süpernova patlamaları, küresel olmayan nötron yıldızlarının dönme hareketleri ve kara delikler arasındaki çarpışmalar da olmak üzere, kütleçekimi dalgaları yaymasını bekledikleri astrofiziksel kaynaklardan gelecek kütleçekimi dalgalarının frekanslarını da -detektörden her saniye geçmesi gereken dalga tepesi ve çukuru sayısı- dikkatli bir biçimde hesapladılar. Bu bilgi olmaksızın deneycilerin yaptıkları samanlıkta iğne aramak gibi olur; bu bilgi elde olduğunda detektörleri fiziksel olarak ilgilendikleri, kesin olarak belirlenmiş frekans aralıklarına yönlendirebilirler. ilginçtir, hesaplar bazı kütleçekimsel dalga frekanslarının saniyede birkaç bin çevrim aralığında olduğunu göstermiştir; eğer bunlar ses dalgası olsalardı, insan kulağının duyabileceği aralıkta olacaklardı. Birleşen nötron yıldızlarının sesi gittikçe incelen bir cıvıltıya benzeyecekti, çarpışan kara deliklerin sesi ise bir serçenin ötüşünü andıracaktı. Uzay-zamanın dokusunda titreşen pek çok kütleçekimi dalgası vardır ve her şey planlandığı gibi giderse, LIGO bunları alabilecek ilk araç olacaktır. Bunu bu kadar heyecan verici yapan şey, kütleçekimi dalgalarının, kütleçekiminin işe yarayan iki temel özelliğini en üst düzeye çıkarmasıdır: Zayıflığı ve her yerde bulunma özelliği. Dört kuvvetin içinde maddeyle en zayıf etkileşen, kütleçekimidir. Bu, kütleçekimi

dalgalarının ışığa geçirgen olmayan ortamlardan da geçebileceği ve daha önce gizli kalmış olan astrofiziksel alanlara ulaşmamızı sağlayabileceği anlamına gelir. Üstelik her şey kütleçekiminin etkisi altında olduğundan (oysa, örneğin elektromanyetik kuvvet, yalnızca elektrik yükü taşıyan cisimleri etkiler) her şey kütleçekimi dalgaları üretme kapasitesine sahiptir ve bu yüzden gözlenebilir bir iz bırakır. Bu nedenle LIGO, evreni inceleme yöntemlerimizde keskin bir dönüş noktasını temsil eder.

Geçmişte tüm yapabildiğimizin, başımızı yukarı kaldırıp gök-yüzüne bakmak olduğu bir dönem vardı. Hans Lippershey ve Galileo Galilei teleskop yardımıyla bunu değiştirdi; böylece evrenin büyük manzarası insanların görüş alanına girdi. Ama zamanla, görünür ışığın elektromanyetik spektrumun ancak çok küçük bir bölümünü temsil ettiğini fark ettik. Yirminci yüzyılda kızılötesi, radyo, X-ışını ve gamma ışını teleskoplarının yardımıyla, evren önümüzde yeniden açılarak gözlerimizin almak üzere evrim geçirdiği görünür ışıkla göremediğimiz görkemini ortaya serdi. Şimdi, yirmi birinci yüzyılda göklere bir kez daha bakıyoruz. LIGO ile ve onun getirdiği gelişmelerle evrene yepyeni bir şekilde bakacağız. Elektromanyetik dalgalar yerine kütleçekimi dalgalarını; elektromanyetik kuvvet yerine kütleçekimi kuvvetini kullanacağız.

Bu yeni teknolojinin ne kadar devrimci olduğunu görebilmek için, üzerinde şu anda gezegen dışı bilimcilerin elektromanyetik dalgaları -ışığı- nasıl saptayacaklarını keşfettikleri bir gezegeni gözünüzün önüne getirin ve bu buluşun, onların evrene bakışını kısa sürede nasıl değiştireceğini düşünün. Biz de kütleçekimi dalgalarını henüz keşfetmekte olduğumuzdan benzer bir durumda olabiliriz. Binlerce yıldır evrene yalnızca baktık, şimdi ise insanlık tarihinde ilk defa onu sanki dinleyecek gibiyiz.

Fazladan Boyutları Arayış

1996 öncesi, fazladan boyutları içeren kuramsal modellerin çoğunda, bu boyutların uzunluğunun kabaca Planck boyutlarında (10-33 cm) olduğunu varsayılıyordu. Bu da çağdaş aletlerle çözümlenebilecek herhangi bir şeyden on yedi büyüklük mertebesi daha küçük olduğu için, mucizevi yeni bir teknoloji bulunmadığı sürece Planck fiziği erişimimizin ötesinde kalacaktır. Ama eğer fazladan boyutlar "büyük" iseler, ki bunun anlamı bir metrenin milyon kere milyon kere yüzde birinden (10-20) daha küçük, yani bir atom çekirdeğinin yaklaşık milyonda biri kadar olmalarıdır, o zaman umut vardır.

Bölüm 13'te incelediğimiz gibi, eğer fazladan boyutların herhangi biri "çok büyük" ise -milimetre boyutlarının birkaç büyüklük mertebesi civarında- o zaman kütleçekiminin kuvvetinin çok hassas ölçümleri bunların varlığını ortaya çıkarabilir. Böyle deneyler birkaç yıldır geliştiriliyor ve teknikler hızla mükemmelleşiyor. Şimdiye kadar, üç boyutlu uzayın bir karakteristiği olan ters kare yasasından hiçbir sapma bulunamadı, bu yüzden araştırmacılar daha küçük uzaklıkları araştırmaya başladılar. Olumlu bir sinyal, deyim yerindeyse fiziği temellerinden sarsacaktır. Böyle bir sinyal, fazladan boyutlara yalnızca kütleçekimi ile ulaşılabileceği konusunda ikna edici bir kanıt ortaya koyacak ve bu da sicim/M-kuramının zar dünyalar senaryosuna önemli bir destek sağlayacaktır.

Eğer fazladan boyutlar büyüklerse ama çok büyük değillerse, hassas kütleçekimi deneylerinin bunların varlığını ortaya çıkarması olasılığı zayıftır ama diğer dolaylı yollar hâlâ kullanılabilir kalır. Örneğin, fazladan boyutların büyük olmaları, kütleçekimini yapısal gücünün önceden düşünüldüğünden daha büyük olduğu anlamına gelir. Kütleçekiminin gözlenen zayıflığı, kütleçekimini fazladan boyutlara sızması olarak yorumlanır, gerçekten zayıf olduğuna değil; küçük uzaklık ölçeklerinde böyle bir sızma ortaya çıkmadan önce kütleçekimi güçlüdür. Diğer öngörülerin yanısıra bu, minik kara deliklerin yaratılmasının kütleçekiminin çok daha zayıf olduğu bir evrende gerektireceğinden çok daha az kütle ve enerji gerektireceği anlamına gelir. Bölüm 13'te, şimdi İsviçre'nin Cenevre kentinde inşa edilmekte olan ve 2007'de bitirilmesi planlanan Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndaki yüksek enerjili proton-proton çarpışmalarında böyle minik kara deliklerin oluşmuş olma olasılığını incelemiştik. Bu önemli bir beklentidir. Ama Kentucky Universitesi'nden Alfred Shapere ve Irvine deki Kaliforniya Üniversitesi'nden Jonathan Feng'in ortaya attıkları bir başka olasılık daha var. Bu araştırmacılar, kozmik ışınların da -uzaydan gelen ve sürekli olarak atmosferi döven temel parçacıklar- mikroskopik kara deliklerin oluşumunu başlatmış olabileceğini öne sürüyorlar.

Kozmik ışın parçacıkları 1912 yılında Avusturyalı bilim insanı Victor Hess tarafından keşfedildi; doksan yıldan daha uzun bir süre sonra hâlâ pek çok sır barındırıyorlar. Her saniye kozmik ışınlar atmosfere çarpıyor, aşağıya doğru hareket eden, sizin ve benim vücudumuzun içinden geçen milyarlarca parçacıktan oluşan parçacık yağmurları başlatıyorlar; bunlardan bazıları tüm Dünya da bu iş için yapılmış olan detektörler tarafından saptanıyorlar. Ama hiç kimse atmosfere çarpan parçacıkların ne tür olduğundan tam emin değil (her ne kadar, bunların proton olduğu yolunda giderek artan bir fikir birliği olsa da) ve bu yüksek enerjili parçacıklardan bazılarının süpernova patlamalarından

geldiği gerçeğine rağmen hiç kimsenin en yüksek enerjili kozmik parçacıkların nereden kaynaklandığı konusunda herhangi bir fikri yok. Örneğin, 15 Ekim 1991'de Utah çölündeki Sinek Gözü kozmik ışın detektörü, gökyüzünde hareket eden ve enerjisi 30 milyar proton kütlesine eşit olan bir parçacık saptadı. Bu hemen hemen tek bir atom-altı parçacığındaki bir Mariano Rivera topunun enerjisine ve yaklaşık olarak Büyük Hadron Çarpıştırıcısında üretilecek parçacık enerjilerinin 100 milyon katına eşit. Şaşırtıcı olan, bilinen hiçbir tür astrofiziksel sürecin böylesine yüksek enerjili parçacıklar üretmemesi; deneyciler, bu sırrı çözmek umuduyla daha hassas detektörler yapıyor ve daha fazla veri topluyorlar.

Shapere ve Feng için süper-enerjili kozmik ışın parçacıklarının kökeni ikincil öneme sahip. Onlar, bu parçacıklar nereden geliyor olurlarsa olsunlar, eğer kütleçekimi mikroskopik ölçeklerde önceden düşünüldüğünden daha güçlüyse, en yüksek enerjili kozmik parçacıklar atmosfere çarptıklarında minik kara delikler oluşturmaya yetecek kadar yüksek hızlara sahip olacaklarını anlamışlardı.

Atom çarpıştırıcılarında üretilmeleri sırasında böyle minik kara deliklerin deneycilere ya da genelde dış dünyaya bir tehlike oluşturmaları kesinlikle söz konusu değildir. Ortaya çıktıktan hemen sonra bunlar, daha sıradan, karakteristik bir parçacık yağmuru vererek hızla bozunurlar. Gerçekten mikroskobik kara delikler o kadar kısa ömürlüdürler ki, deneyciler onların varlığını doğrudan araştıramaz; detektörlerin üzerine yağan parçacıkları ayrıntılı olarak inceleyerek kara deliklerin kanıtını bulmaya çalışırlar. Dünyadaki en hassas kozmik ışın detektörlerinden olan Pierre Auger Gözlemevi -ki gözlem alanı Rhode Island kadardır- şu anda Arjantin'in batısında devasa bir alan üzerinde inşa halindedir. Shapere ve Feng, eğer fazladan boyutların hepsi 10-14 metre kadar büyükse, bir yıllık bir veri toplama süresinden sonra Auger detektörünün atmosferin üst katmanlarında üretilen on kadar minik kara delikten kaynaklanan parçacık yağmurlarını saptayabileceğini hesaplıyorlar. Eğer böyle kara delik izleri bulunmazsa, fazladan boyutların daha küçük olduğu sonucuna varılacaktır. Kozmik ışın çarpışmalarında üretilen kara deliklerin kalıntılarını bulmak elbette zor bir iştir ama başarı fazladan boyutlar, kara delikler, sicim kuramı ve kuantum kütleçekimi konularında ilk deneysel pencereyi açacaktır. Kara delik üretilmesinin ötesinde, önümüzdeki on yılda araştırmacıların fazladan boyutları aramak amacıyla kullanacakları hızlandırıcı-temelli bir yol daha vardır. Fikir, cebinizden kaybolan bozuk paraları açıklamakta kullanılan "koltuk minderleri arasındaki uzay" ın bir çeşitlemesidir.

Fiziğin temel ilkelerinden biri enerjinin korunumudur. Enerji kendini birçok biçimde gösterebilir -beyzbol sopasından seken topun kinetik enerjisi, yukarı doğru uçan topun kütleçekimsel potansiyel enerjisi, top yere çarpıp her türden titreşim yarattığında ortaya çıkan ses ve ısı enerjisi, topun kendisinde gizli olan kütle enerjisi vb- ama bütün enerji taşıyıcıları hesaba katıldığında, sonuçtaki enerji her zaman başlangıçtakine eşittir. Bu güne kadar bu mükemmel enerji dengesiyle çelişen hiçbir deney olmamıştır.

Ama varsayılan fazladan boyutların kesin büyüklüğüne bağlı olarak son dönemde yenilenen Fermilab ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısındaki aletlerde yapılacak olan deneyler, enerji korunumunu ihlal ediyormuş gibi görünen bir süreci ortaya çıkarabilir: Çarpışmanın sonrasındaki enerji, öncesindeki enerjiden az olabilir. Bunun nedeni, tıpkı kaybolan bozuk paralarınız gibi, (gravitonlar taralından taşınan) enerjinin, fazladan boyutların ortaya çıkardığı çatlaklara -minik ek uzaylar- sızması ve böylece enerji dengesi hesabında gözden kaçmasıdır. Böylesi bir "eksik enerji işareti" olasılığı, evrenin dokusunun doğrudan görebildiğimizin ötesinde bir karmaşıklığa sahip olduğunun bir başka göstergesi olacaktır.

Kuşkusuz iş fazladan boyutlara geldiğinde ben biraz önyargılıyım. Fazladan boyutların özellikleri üzerinde on beş yıldan daha uzun süre çalıştım, o yüzden onlar kalbimde özel bir yere sahip. Ama itiraf etmeliyim ki, pek az keşif benim için bildiğimiz üç temel boyutun ötesindeki boyutlar konusunda kanıtların bulunmasından daha heyecan verici olabilir. Benim düşünceme göre şu anda doğrulanması fiziği temellerinden bu kadar güçlü sarsacak ve gerçekliğin temel, görünüşe göre kanıtları ortada olan öğelerini sorgulamamızı gerektirecek bir başka ciddi öneri ortada yok.

Higgs, Süpersimetri ve Sicim Kuramı

Bilinmezliğe doğru yapılan araştırmaların meydan okuyuculuğu ve fazladan boyutlara ilişkin kanıtlar bulma şansının ötesinde, Fermilab'daki hızlandırıcıyı yenilemenin ve dev Büyük Hadron Çarpıştırıcısı’nı inşa etmenin altında yatan özel bazı güdüler de var. Bunlardan biri Higgs parçacıklarını bulmaya çalışmak. Bölüm 9'da incelediğimiz gibi, ele geçmesi zor olan Higgs parçacıkları Higgs alanının -fizikçilerin öne sürdüğü Higgs okyanusunu oluşturan ve diğer temel parçacık türlerine kütlelerini kazandıran alan- en küçük bileşenleridir. Son dönemlerdeki kuramsal ve deneysel çalışmalar Higgs'în kütlesinin, proton kütlesinin yüz ile bin katı arasındaki bir aralıkta

olması gerektiğini gösteriyor. Eğer bu aralığın alt ucu doğruysa, Fermilab'in yakın bir gelecekte bir Higgs parçacığı saptama şansı oldukça yüksektir. Elbette, eğer Fermilab başarısız olursa ve tahmin edilen kütle aralığı yine de doğruysa, on yıl içinde Büyük Hadron Çarpıştırıcısı pek çok Higgs parçacığı bulmalıdır. Higgs parçacıklarının saptanması, kuramsal parçacık fizikçilerinin ve kozmolojistlerin onlarca yıldır öne sürdükleri alan türlerinin varlığını doğrulayacağı için, destekleyen başka herhangi bir kanıt olmaksızın önemli bir kilometre taşı olacaktır.

Hem Fermilab'in hem de Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın bir başka temel amacı da, süpersimetri kanıtlarını saptamaktır. Bölüm 12'den hatırlayacağımız gibi, süpersimetri parçacıkları spinleri yarım birim farklı olan çiftlere ayırır ve özgün olarak 1970'lerde yapılan sicim kuramı çalışmalarında ortaya çıkmıştır. Eğer süpersimetri gerçek dünya ile bağlantılı ise, o zaman spini

1/2 olan, bilinen her parçacık türü için spini 0 olan bir tür olmalıdır; spini 1 olan bilinen her parçacık türü için, spini 1/2 olan bir parçacık türü olmalıdır. Örneğin, spini 1/2 olan elektron için spini 0 olan ve süpersimetrik elektron veya kısaca selektron adı verilen bir tür olmalıdır; spini 1/2 olan kuarklar için spini olan süpersimetrik kuarklar veya skuarklar, spini 1/2 olan nötrinolar için spini 0 olan snötrinolar, spinleri 1 olan gluonlar, fotonlar, W ve Z parçacıkları için spinleri ½ olan gluinolar, fotinolar, winolar ve ginolar olmalıdır. (Evet, fizikçiler coştu.)

Şimdiye kadar hiç kimse varlıkları öne sürülen bu çiftlerin herhangi birini saptayamadı ve fizikçiler bunun açıklamasının, süpersimetrik parçacıkların, bilinen karşılıklarından çok daha büyük kütleli olmaları olduğunu umuyorlar. Kuramsal çalışmalar, süpersimetrik parçacıkların fotondan bin kat daha büyük kütleli olabileceğini gösteriyor ki, bu durumda bunların deneysel verilerde kendilerini göstermemeleri gizemli olmaktan çıkar: Var olan atom çarpıştırıcıları bunları üretmek için yeterli güce sahip değildir. Gelecek on yılda bu değişecektir. Fermilab'de yenilenen bir hızlandırıcı şimdiden bazı süpersimetrik parçacıkları keşfetmeyi hedefliyor. Tıpkı Higgs'te olduğu gibi, eğer Fermilab süpersimetrinin kanıtlarını bulmakta başarısız olursa ve eğer süpersimetrik parçacıklar için beklenen kütle aralığı doğru ise, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı bunları kolaylıkla üretebilmeli.

Süpersimetrinin doğrulanması parçacık fiziğinde son yirmi yılda ortaya çıkan en büyük gelişme olacaktır. Kavrayışımızda parçacık fiziğinin başarılı standart modelinin ötesindeki adımımızı belirleyecek ve sicim kuramının doğru yolda olduğunun belirtilerini bulacaktır. Ama dikkat ederseniz sicim kuramının kendisini kanıtlamayacaktır. Süpersimetri, simetri kuramının geliştirilmesi

sırasında keşfedilmiş olsa da, fizikçiler çok uzun zamandan beri süpersimetrinin geleneksel nokta-parçacık yaklaşımıyla da kolayca uyuşabilecek, daha genel bir ilke olduğunu anlamışlardı. Süpersimetrinin doğrulanması sicim yapısının hayati önemde bir öğesini ortaya koyacak ve daha sonra yapılacak araştırmalara yol gösterecektir ama sicim kuramının namlusundan hâlâ duman tüten silahı olmayacaktır.

Öte yandan, eğer zar dünyalar kuramı doğru ise, yakın gelecekteki hızlandırıcı deneylerinin sicim kuramını doğrulama potansiyeli vardır. Bölüm 13'de kısaca söz edildiği gibi, eğer zar dünyalar senaryosundaki fazladan boyutlar 10-16 cm kadar büyükse, yalnızca kütleçekimi yapısal olarak önceden düşünüldüğünden daha güçlü olmakla kalmayacak, sicimler de önemli ölçüde daha uzun olacaklardır. Uzun sicimler daha esnek olacaklarından titreşmek için daha az enerjiye ihtiyaç duyarlar. Klasik sicim yapısında sicim titreşim desenleri deneysel olarak erişebileceğimizin milyar kere milyar ötesinde iken, zar dünyalar senaryosunda sicim titreşim desenlerinin enerjileri protonun kütlesinin bin katı kadar küçük olabilir. Eğer durum böyle ise, Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'ndaki yüksek enerjili çarpışmalar, bir piyanonun içinde seken hızlı bir golf topunu andırır; çarpışmalar sicim titreşim desenlerinin birçok “oktav”ını tetikleyecek kadar yüksek enerjilidir. Deneyciler, enerjileri sicim kuramının harmonik rezonanslarına karşılık gelen, yepyeni, daha önce hiç görülmemiş parçacıkların tam bir takımını, yani yeni, daha önce hiç görülmemiş sicim titreşim desenlerinin tam bir takımını saptayacaklardır.

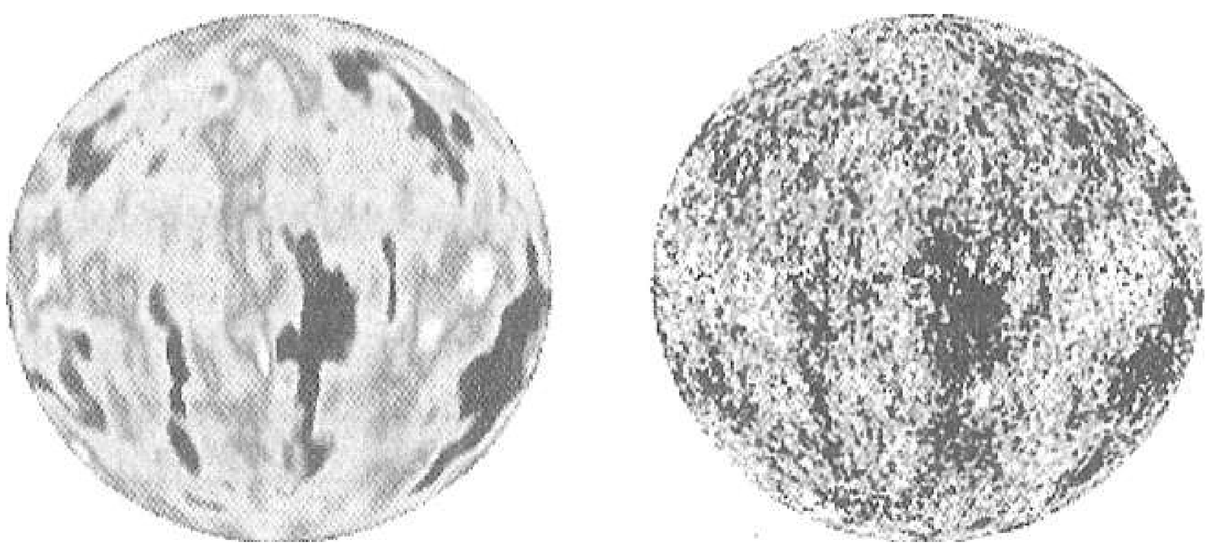
Bu parçacıkların özellikleri ve aralarındaki ilişkiler, yanılgıya yer bırakmayacak şekilde aynı kozmik oyunun bir parçası olduklarını, hepsinin birbirlerinden farklı ama birbirleriyle ilişkili notalar olduklarını, hepsinin tek tür bir nesnenin -bir sicimin- farklı titreşim desenleri olduğunu gösterir. Öngörülebilir bir gelecek için bu, sicim kuramının doğrulanması bakımından en olası senaryodur.

Kozmik Kökenler

Daha önceki bölümlerde gördüğümüz gibi, kozmik mikrodalga fon ışınımı, 1960'ların ortalarındaki keşfinden bu yana kozmik araştırmalarda önemli bir rol oynamıştı. Bunun nedeni açıktır: Evrenin erken dönemlerinde uzay, elektromanyetik kuvvet aracılığıyla fotonlarla durmaksızın şurada burada çarpışan elektrik yüklü parçacıklarla -elektron ve protonlarla- doluydu. Ama patlamadan yalnızca 300.000 yıl sonra evren, elektronlar ve protonların

elektriksel olarak yüksüz olan atomları oluşturmak üzere bir araya gelebilecekleri kadar soğumuştu ve bu andan itibaren ışınım, evrenin ilk dönemlerinin bir fotoğrafını verecek şekilde, uzayda çoğunlukla hiç engellenmeden yayılmıştı. Bu ilkel kozmik mikrodalga fotonlarından uzayın her metreküpünden geçen, kabaca 400 milyon tane vardır ki, bunlar ilkel evrenin asıl kalıntılarıdır.

Mikrodalga fon ışınımının ilk ölçümleri, ışınımın sıcaklığının son derece birörnek olduğunu gösterdi ama Bölüm 11 de incelediğimiz gibi, ilk kez 1992'de Kozmik Fon Kaşifi (Cosmic Background Explorer, COBE) tarafından gerçekleştirilen ve o zamandan buy ana geliştirilen yakından inceleme teknikleri ile Şekil 14.4'te gösterildiği gibi bazı küçük sıcaklık değişimlerinin kanıtları bulundu. Veriler gri yelpaze ile kodlanmıştır, açık ve koyu renkli bölgeler bir derecenin yaklaşık binde biri kadar sıcaklık değişimlerini gösterir. Şeklin lekeli görüntüsü, ışınımın gökyüzündeki dağılımındaki küçük ama inkâr edilemeyecek ölçüde gerçek farklılıkları gösteriyor.



Şekil 14.4 (a) COBE uydusu tarafından toplanan kozmik mikrodalga fon ışınımı verileri. Bu ışınım, Büyük Patlama'nın yaklaşık 300.000 yıl sonrasından beri Hiçbir engelle karşılaşmadan yayılıyor, o yüzden bu şekil, evrende hemen hemen 14 milyar yıl önce var olan sıcaklık farklılıklarını gösteriyor, (b) WMAP uydusu tarafından toplanan geliştirilmiş veriler

Kendi başına etkileyici bir keşif olmakla birlikte COBE deneyi aynı zamanda kozmolojik araştırmaların niteliğinde temel bir değişikliği simgeliyor. COBEden önce kozmolojik veriler kabaydı. Bir kozmoloji kuramı da ancak astronomi gözlemlerinin kaba verilerine uyuyorsa, uygulanabilir sayılıyordu.

Kuramcılar, gözlemsel sınırlamaları en düşük düzeyde göz önünde bulundurarak birbiri ardı sıra şemalar üretebiliyorlardı. Çok fazla gözlemsel sınırlama yoktu ve olanlar da çok hassas değildi. Ama COBE standartların oldukça yükseltildiği yeni bir dönem başlattı. Şimdi kuramcıların göz önüne alınmak için başarıyla açıklaması gereken, gittikçe artan miktarlarda çok hassas veriler var. 2001'de NASA ve Princeton Üniversitesi'nin ortak girişimi olan Wilkinson Mikrodalga Anizotropi (Yönsüzlük) Sondası (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, WMAP), mikrodalga fon ışınımını COBE'nin yaklaşık kırk katı çözünürlük ve hassasiyetle ölçmek üzere fırlatıldı. Şekil 14.4b'de görülen WMAP'in ilk sonuçlarım, Şekil 14.4a'da görülen COBE'nin sonuçlarıyla karşılaştırırsanız, WMAP'in nasıl daha hassas ve ayrıntılı bir görüntü sağladığını hemen görebilirsiniz. Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilen bir başka uydu olan Planck'in 2007 de fırlatılması planlanmıştır ve her şey yolunda giderse, uydunun çözünürlüğü WMAP'inkinin on katı olacaktır.

Hassas verilerin toplanması, kozmolojideki öneriler alanında ayrışmalara neden oldu, şişme modeli savaşımını açık ara en önlerde veriyordu. Ama Bölüm 10'da söz ettiğimiz gibi, şişme kozmolojisi tek kuram değildir. Kuramcılar bunun birçok farklı versiyonunu önermişlerdir (birkaçının adını vermek gerekirse, eski şişme, yeni şişme, ılık şişme, hibrid şişme, hiperşişme, yardım alan şişme, sonsuz şişme, genişletilmiş şişme, kaotik şişme, çift şişme, zayıf-ölçekli şişme, hiperdoğal şişme). Bunlardan her birinin ayırt edici özelliği kısa süreli bir şişme patlaması olup, her birinin ayrıntıları farklıdır (alan sayıları ve alan değerlerinin kaldığı platoların yer aldığı potansiyel enerji şekilleri vb). Bu farklar mikrodalga fon ışınımının özellikleri konusunda birbirinden biraz farklı öngörülere yol açar (farklı enerjilere sahip olan farklı alanlar, birbirlerinden hafifçe farklı kuantum dalgalanmalarına yol açarlar). WMAP ve Planck verileriyle karşılaştırma, pek çok öneriyi eleyerek kavrayışımızı önemli ölçüde artırır.

Aslında veriler alanı daha da daraltabilir. Her ne kadar şişme genişlemesi tarafından gerilen kuantum dalgalanmaları, gözlenen sıcaklık değişimleri için ikna edici bir açıklama getiriyorsa da, bu modelin bir rakibi vardır. Bölüm 13'te tarif edilen Steinhardt ve Turok'un yinelenen kozmolojik modeli bir öneri seçeneği sunar. Yinelenen modeldeki iki tane üç-zar yavaşça birbirlerine doğru yaklaşırken, kuantum dalgalanmaları farklı bölgelerin çok az farklı hızlarla yaklaşmalarına neden olur. Trilyonlarca yıl sonra tam olarak çarpıştıklarında zarlar üzerindeki farklı noktalar çok az farklı anlarda temas eder. Bunu, iki zımpara kâğıdını yüz yüze bir araya getirmeye benzetebiliriz. Mükemmel birörnek temastan minik sapmalar, zarların her birinde mükemmel birörnek bir

evrimden minik sapmalara yol açar. Bu zarlardan birinin bizim üç boyutlu uzayımız olduğu varsayıldığı için, birörneklikten sapmalar, bizim saptayabileceğimiz sapmalar olmalıdır. Steinhardt, Turok ve çalışma arkadaşları, türdeşlikteki bozuklukların şişme yapısından kaynaklananlara benzer sıcaklık farklılıklarına yol açtığını öne sürmüşlerdi ve bu yüzden, günümüzün verileriyle yinelenen model, gözlemler için aynı derecede uygulanabilir bir model oluşturmaktadır.

Bununla birlikte, önümüzdeki on yılda toplanacak olan daha rafine veriler iki yaklaşım arasındaki farkı ortaya koyabilir. Şişme yapısında yalnızca şişme alanındaki kuantum dalgalanmaları üstel genişleme patlaması tarafından gerilmekle kalmaz, bunun yanısıra uzayın dokusundaki minik kuantum dalgacıkları da dışarıya doğru yoğun gerilmenin etkisiyle üretilirler. Uzaydaki dalgacıklar kütleçekimsel dalgalardan başka bir şey olmadıklarından (daha önce LIGO'yu incelerken gördüğümüz gibi), şişme yapısı kütleçekimi dalgalarının evrenin ilk anlarında üretildiklerini öngörür.

Bunları, daha yakın zamanlarda şiddetli astrofiziksel olaylarda üretilenlerden ayırt etmek için, bunlara çoğunlukla ilkel kütleçekimsel dalgalar adı verilir. Yinelenen modelde, tersine, mükemmel birörneklikten sapış çok yavaş, zarlar birbirlerine doğru trilyonlarca yılda yavaş yavaş yaklaşırlarken, hemen hemen ölçülemeyecek kadar uzun bir zamanda gerçekleşir. Zarların ve uzayın geometrisinde hızlı ve şiddetli bir değişiklik olmaması uzaysal dalgacıkların üretilmediği anlamına gelir, o yüzden yinelenen modelde ilkel kütleçekimsel dalgaların yeri yoktur.

Bu nedenle, eğer ilkel kozmolojik kütleçekimsel dalgalar sap-tanırsa, bu, şişme yapısının bir başka zaferi olacak ve böylece yinelenen yaklaşımı ortadan kaldıracaktır.

LIGO'nun, şişmenin öngördüğü kütleçekimsel dalgaları algılayabilecek kadar hassas olması pek olası değildir ama bu dalgaların dolaylı yoldan ya Planck ya da şu anda planlanma aşamasında olan Kozmik Mikrodalga Fon Polarizasyon deneyi (Cosmic Microwave Background Polarization experiment, CMPBPol) tarafından algılanması olasılığı vardır. Planck ve özellikle CMBPol yalnızca mikrodalga fon ışınımındaki sıcaklık değişikliklerine odaklanmayacaklar, saptanan mikrodalga fotonlarının ortalama spin yönlerini, yani polarizasyonlarını da ölçeceklerdir. Burada inceleyemeyeceğimiz kadar karmaşık bir düşünüş mantık zinciriyle, Büyük Patlama'dan kaynaklanan kütleçekimi dalgaları, mikrodalga fon ışınımı fotonlarının polarizasyonları üzerinde belirgin izler bırakır. Bu izler belki de ölçülecek kadar büyük olabilir.

Böylece, on yıl içinde, patlamanın aslında bir çarpışma olup olmadığı, farkında olduğumuz evrenin gerçekten bir üç-zar olup olmadığı yolunda kesin bir fikre sahip olabiliriz. Kozmolojinin altın çağında en inanılmaz fikirlerin bazıları gerçekten sınanabilir.

Karanlık Madde, Karanlık Enerji ve Evrenin Geleceği

Bölüm 10'da evrenin içeriğinin yalnızca yüzde 5 inin bildiğimiz maddeyi meydana getiren bileşenlerden, protonlar ve nötronlardan (elektronlar bildiğimiz maddenin kütlesinin yüzde 0,05'inden daha azını oluşturur) oluşurken, yüzde 25'inin karanlık maddeden, yüzde 70'ininse karanlık enerjiden oluştuğu yolunda güçlü kanıtlar görmüştük. Ama bu karanlık şeyin ayrıntılı kimliği konusunda hâlâ önemli belirsizlikler var. Doğal bir tahmin, karanlık maddenin yine proton ve nötronlardan oluştuğu, bunların ışık-saçan yıldızları oluşturmak üzere bir araya gelmekten bir şekilde kaçınabilen parçacıklar olabileceğidir. Ama bir başka kuramsal görüş bu olasılığı çok zayıflatıyor.

Ayrıntılı gözlemler aracılığıyla astronomlar evrene saçılmış durumda olan hafif elementlerin -hidrojen, helyum, döteryum ve lityum- ortalama göreli bolluğu konusunda net bir bilgiye sahiptir. Bu bolluklar büyük bir kesinlikle evrenin ilk dakikalarında bu çekirdekleri sentezleyen süreçlerin kuramsal hesaplarıyla uyum içindedir. Bu uyum, modern kuramsal kozmolojinin en büyük başarılarından biridir. Bununla birlikte bu hesaplar, karanlık maddenin çok büyük bir bölümünün proton ve nötronlardan oluşmadığını varsayıyor; eğer, proton ve nötronlar kozmolojik ölçeklerde başat bileşenlerse, kozmik reçete bir kenara fırlatılır ve hesaplar, gözlemlerin doğrulamadığı sonuçlara ulaşırlar.

O zaman, eğer proton ve nötronlar değilse, karanlık maddeyi oluşturan nedir? Bugün için kimse bilmiyor, ama öneriden bol bir şey yok. Adayların adları axionlardan zinolara kadar bir gamda yer alıyor ve hiç kuşkusuz cevabı bulan Stockholm'ü ziyaret edecek. Şimdiye kadar hiç kimsenin bir karanlık madde parçacığı saptamamış olması bütün önerileri baskılıyor. Bunun nedeni, karanlık maddenin yalnızca uzayda yer almaması, evrene dağılmış olması ve bu yüzden burada, yeryüzünde bizim de içinde yüzüyor olmamızdır. Birçok öneriye göre şu anda milyarlarca karanlık madde parçacığı her saniye vücudumuzun içinden geçiyor, bu nedenle mantıklı adaylar yalnızca büyük

miktarda maddenin içinden önemli hiçbir iz bırakmadan geçen parçacıklar olabilir.

Nötrinolar bir olasılıktır. Hesaplar, Büyük Patlama da üretilmelerinden bu yana, kalıntı bolluklarının uzayın her metreküpünde 55 milyon olduğunu gösteriyor, bu nedenle eğer üç nötrino türünden birinin kütlesi, proton kütlesinin yaklaşık yüz milyonda biri (10-8) kadar olsa, karanlık maddeyi oluşturabilir. Her ne kadar son dönemlerdeki deneyler nötrinoların kütlesi olduğu yolunda güçlü kanıtlar ortaya koymuş olsa da, şu andaki verilere göre kütleleri karanlık maddeyi oluşturamayacak kadar küçük; olması gerekenin neredeyse yüz kat altında kalıyorlar.

Gelecek vadeden bir diğer öneri, süpersimetrik parçacıkları, özellikle de fotino, zino, ve higgsino'yu (foton, Z parçacığı ve Higgs'in süpersimetrik parçacıkları) öne sürüyor. Bunlar süper- simetrik parçacıkların en utangaçlarındandır -yerkürenin içinden büyük bir kolaylıkla, hiçbir iz bırakmadan geçebilirler- ve bu yüzden saptanmaktan kolayca kurtulmuş olabilirler. Bu parçacıklardan kaç tanesinin Büyük Patlama'da üretilip günümüze kadar varlıklarını sürdürdüğüne ilişkin hesaplardan fizikçiler karanlık maddeyi oluşturabilmek için, proton kütlesinin yaklaşık 100 ile 1000 katı arasında kütleye ihtiyaç duyulacağını tahmin ediyorlar. Bu, merak uyandırıcı bir sayıdır, çünkü süpersimetrik parçacık modellerine ve süpersicim kuramına ilişkin çeşitli çalışmalarda, karanlık maddeye ya da kozmolojiye bir bağlantı olmaksızın bu parçacıklar için aynı kütle aralığı bulunmuştur. Elbette karanlık madde gerçekten süpersimetrik parçacıklardan oluşmuyorsa bu, şaşırtıcı ve tümüyle açıklanamayan bir ortak varış noktasıdır. Bu yüzden, Dünya'da halen çalışan veya beklemedeki hızlandırıcılarda süpersimetrik parçacıkların araştırılmasına karanlık maddenin en favori adayı konusundaki araştırmalar gözüyle de bakılabilir.

Dünyanın içinden geçen karanlık madde parçacıkları konusunda daha doğrudan araştırmalar, her ne kadar bunlar son derece iddialı deneyler olsa da, bir süreden beri hazırlık aşamasındaydı. Madeni para boyutlarındaki bir bölgeden her saniye geçen bir milyon ya da daha fazla karanlık madde parçacığının, en fazla günde bir tanesi farklı deneycilerin yaptığı özel tasarımlı detektörlerde bir iz bırakabilir. Bugüne kadar doğrulanmış bir karanlık madde saptanması gerçekleşmedi. Ödül hâlâ ortada olduğundan, araştırmacılar geleceğe yönelik olarak yoğun biçimde çalışıyorlar. Karanlık maddenin kimliğinin önümüzdeki birkaç yıl içinde açıklığa kavuşma olasılığı oldukça yüksektir.

Karanlık maddenin varlığının kesin doğrulanması ve bileşiminin belirlenmesi büyük bir ilerleme olacaktır. Tarihte ilk defa son derece temel ve şaşırtıcı biçimde ele geçmez bir şey öğreneceğiz: Evrenin madde içeriğinin ezici çoğunluğunun bileşimini.

Yine de, Bölüm 10'da gördüğümüz gibi, son dönemde elde edilen veriler, karanlık maddenin kimliği tanımlanmış olsa bile, geriye deneysel olarak doğrulanmak zorunda olan bir konunun kalacağını gösteriyor: Evrendeki toplam enerjinin yüzde 70'ini açıklayan, dışarıya doğru iten kozmoloji sabiti konusunda kanıtlar sağlayan süpernova gözlemleri. Son on yılın en heyecan verici ve beklenmedik keşfi olarak, kozmoloji sabiti konusundaki kanıtın -uzayı dolduran enerji- kesin bir biçimde doğrulanmaya ihtiyacı vardır. Bu konuda birçok yaklaşım ya planlanmış ya da uygulanmaya başlamıştır.

Mikrodalga fon deneyleri de burada önemli rol oynar. Şekil 14.4'teki lekelerin boyutu -her leke sıcaklığın sabit olduğu bir bölgedir- uzaysal dokunun genel şeklini yansıtır. Eğer uzay Şekil 8.6a'daki gibi küre biçiminde şekillenmişse, dışarıya doğru şişme lekelerin Şekil 14.4b'de olduğundan daha büyük olmalarına neden olur; eğer uzay Şekil 8.6c'deki gibi eyer şeklindeyse, içeriye doğru büzülme lekelerin biraz daha küçük olmalarına neden olur; eğer uzay Şekil 14.4b'deki gibi düzse, lekelerin büyüklüğü bu ikisinin arasına bir yerde olur. COBE tarafından başlatılan ve WMAP tarafından geliştirilen hassas ölçümler uzayın düz olduğu yolundaki öneriyi kuvvetle destekliyor. Bu, yalnızca şişme modellerinden gelen kuramsal beklentilerle uyuşmakla kalmaz, aynı zamanda süpernova sonuçları ile de mükemmel bir biçimde tutarlıdır. Görmüş olduğumuz gibi, uzaysal olarak düz bir evren toplam kütle/enerji yoğunluğunun kritik yoğunluğa eşit olmasını gerektirir. Bildiğimiz ve karanlık madde yüzde 30 katkı yaparken karanlık enerjinin katkısı da yüzde 70 olur ve her şey etkileyici bir biçimde uyuşur.

Süpernova sonuçlarının daha dolaysız doğrulanması SüperNova/Ivme Sondası’nın (SuperNova/Acceleration Probe, SNAP) amacıdır. Lawrence Berkeley Laboratuvarı'ndaki bilim insanlarınca önerilmiş olan SNAP, şimdiye kadar gözlenmiş olan süpernovaların yirmi katından daha fazlasını gözleme ve ölçme kapasitesine sahip, uyduda çalışan bir yörünge teleskobu olacaktır. SNAP evrenin yüzde 70'inin karanlık enerji olduğu yolundaki eski sonuçları doğrulamakla kalmayacak, aynı zamanda karanlık enerjinin doğasını daha büyük bir kesinlikle belirleyebilecektir.

Gördüğünüz gibi, her ne kadar karanlık enerjiyi Einstein'ın kozmoloji sabitinin -uzayı genişlemeye zorlayan sabit, değişmeyen bir enerji- bir türü olarak tanımlamışsam da, bununla yakından bağlantılı, farklı bir olasılık daha

vardır. Şişme kozmolojisi (ve sıçrayan kurbağa) tartışmamızdan, değeri en düşük değerinin üzerinde kalan bir alanın, uzayın genişlemesini sağlayan ama bunu kısa bir süre için yapan bir kozmoloji sabiti olarak davranabileceğini hatırlayın. Er ya da geç, alan bir yolunu bularak potansiyel enerji kâsesinin dibine kayacak ve genişleme ortadan kalkacaktır. Şişme kozmolojisinde bu, saniyenin küçük bir kesrinde olup biter. Ama fizikçiler, yeni bir alan oluşturarak ve potansiyel enerjinin şeklini dikkatlice seçerek ivmeli genişlemenin çok daha yumuşak olmasını ama çok daha uzun sürmesini sağlayacak yollar bulmuşlardır. Alan, en düşük enerji değerine doğru yavaşça kayarken genişlemeyi göreli olarak daha yavaş bir oranda sürdürür ama bunu saniyenin kesri yerine milyarlarca yılda yapar. Bu durumda şöyle bir olasılık ortaya çıkıyor: Şu anda biz, evrenin ilk anlarında gerçekleştiğine inanılan şişme patlamasının son derece yumuşak bir türünü yaşıyor olabiliriz.

Gerçek bir kozmoloji sabiti ile ikinci olasılık arasında öz olarak bilinen farkın günümüzdeki önemi çok az olmakla birlikte, evrenin uzun-dönemli geleceği üzerinde derin etkileri vardır. Kozmoloji sabiti bir sabittir. Hiç bitmeyen ivmeli bir genişleme sağlar, öyle ki, evren giderek daha hızlı genişleyecek, içeriği seyrekleşecek ve sonunda bomboş kalacaktır. Ama öz, bir noktada neredeyse durmaya yaklaşan ivmeli bir genişleme sağlayarak uzak gelecekte, sonsuz genişlemenin gerektirdiğinden daha az kasvetli, daha az çıplak bir evren ortaya koyar. SNAP; uzun dönemlerde uzayın ivmesindeki değişiklikleri ölçerek (çeşitli uzaklıklardaki, dolayısıyla geçmişte çeşitli zamanlardaki süpernovaları gözlenmesi yoluyla) iki olasılığı birbirinden ayırabilir. Karanlık enerjinin gerçekten bir kozmoloji sabiti olup olmadığını belirlemek yoluyla SNAP bize, evrenin uzun-dönemdeki kaderi konusunda bir fikir verecektir.

Uzay, Zaman ve Spekülasyon

Uzay ve zamanın doğasını keşfetmek için yapılan yolculuk uzun olup birçok sürprizlerle doludur ve kuşkusuz henüz ilk aşamalarındadır. Son birkaç yüzyıl boyunca art arda gelen, uzay ve zaman konularındaki kavrayışımızı sürekli bir biçimde kökten yeniden biçimlendiren atılımlar gördük. Bu kitapta incelediğimiz kuramsal ve deneysel öneriler bu fikirlerin bizim kuşağı- mızca yeniden biçimlendirilmelerini temsil eder ve büyük olasılıkla bizim bilimsel mirasımızın büyük bölümünü oluşturacaktır. Bölüm 16'da bu yolculuğun sonraki birkaç adımı olabilecek gelişmelere ışık tutmaya çabalarken en son ve

tahmini gelişmelerden bazılarını tartışacağız. Ama önce, Bölüm 15’te farklı yönde tahminlerde bulunacağız.

Bilimsel keşif için bilinen bir kalıp olmasa da, tarih, genelde derin kavrayışın teknolojik kontrole yönelik ilk adım olduğunu gösteriyor. 1800’lerde elektromanyetik kuvveti kavrayışımız, bizi sonunda telgraf, radyo ve televizyona götürdü. Bu bilgiyi daha sonra geliştirilen kuantum mekaniği kavrayışıyla birleştirerek bilgisayarları, lazerleri ve burada sayamayacağımız kadar çok olan elektronik aletleri geliştirebildik. Nükleer kuvvetlerin anlaşılması, Dünya’nın gördüğü en güçlü silahlar konusunda bize tehlikeli bir uzmanlık sağladı ve belki de bütün Dünyanın enerjisini bir gün biraz tuzlu sudan sağlayabilmemize olanak verecek teknolojileri geliştirmemize yardımcı oldu. Uzay ve zaman konusunda giderek derinleşen kavrayışımız da acaba benzer bir keşif ve gelişme kalıbının ilk adımı olabilir mi? Acaba bir gün uzay ve zamanın efendisi olarak bugün yalnızca bilim-kurgu konusu olabilecek şeyleri yapabilecek miyiz?

Bunu kimse bilmiyor. Ama gelin ne kadar ilerlediğimizi ve bunu sürdürmek için nelerin gerekli olduğunu görelim.

XV. Bölüm - Tele-Taşıyıcılar ve Zaman Makineleri

Uzay ve Zamanda Yolculuk

Belki de 1960'larda hayal gücünden yoksundum ama beni gerçekten şaşırtan ve inanılmaz gelen şey, Atılgan'da bulunan bilgisayardı. ilkokulda edindiğim anlayış, yoldan çıktığım gibi soluğu sular seller misali İngilizce konuşan uzaylılarla dolu bir evrende alma konusunda şiirsel bir ehliyet kazandırmıştı bana. Ama istendiği anda tarihte yaşamış herhangi bir kimsenin fotoğrafını gösteren, üretilmiş herhangi bir aletin teknik ayrıntılarını veren ya da yazılmış herhangi bir kitaba ulaşmanızı sağlayan bir makine? Kuşkuculuğumu rafa kaldırmaya zorlayan da bu oldu. 1960'ların sonlarında bu kadar çok bilgiyi bir araya getirmenin, saklamanın ve bu bilgiye anında ulaşmanın hiçbir yolunun olmadığına kalıbımı basabilirdim. Ama yarım yüzyıldan daha kısa bir süre sonra dizüstü bilgisayarımla, kablosuz internet bağlantım ve ses tanıma yazılımımla mutfakta oturuyor ve kimi önemli, kimi önemsiz olan devasa bir bilgi denizinin içinde parmağımı kımıldatmadan Kaptan Kirk'i oynuyorum. Doğru, Atılgan'ın yirmi üçüncü yüzyılında betimlenen bilgisayarların hızı hâlâ imrenilecek gibi ama o zaman geldiğinde bizim teknolojimizin de hayalleri kurulan beklentileri aşacağı kolayca öngörülebilir.

Bu örnek, bilim kurgunun geleceği önceden sezme yeteneğinin artık klişe haline gelmiş örneklerinden yalnızca biridir. Ama ya birisinin içine girip bir düğmeye basarak çok uzak bir yere veya bir başka zamana gittiği, aletlerin en gizemlisi? Acaba günün birinde çok uzun zamandır içine hapsolmuş olduğumuz uzaysal mekândan ve zamansal dönemden sıyrılıp uzayın ve zamanın en uzak köşelerini araştırmamız mümkün olabilecek mi? Yoksa bilim kurgu ile gerçeklik arasındaki çizgi sonsuza kadar hep öyle mi kalacak? Çocukluğumdaki bilgi devrimini önceden tahmin etme başarısızlığını yaşamış biri olarak gelecekteki teknolojik atı- lımları öngörme yeteneklerimi sorguluyor olabilirsiniz. O yüzden bu bölümde neyin olabileceği üzerine tahminlerde bulunmak yerine, tele-taşıyıcılar ve zaman makinelerini gerçekleştirmeye doğru hem kuramsal hem de deneysel olarak gerçekten ne kadar ilerlediğimizi ve daha da ileri giderek uzay ve

zamanda tam kontrolü elde etmenin neye mal olacağını anlatmaya çalışacağım.

Bir Kuantum Dünyasında Tele-Taşıma

Geleneksel bilim kurgu betimlemelerinde tele-taşıyıcı (veya Uzay Yolu ağzıyla ışınlayıcı) ayrıntılı bileşimini belirlemek için bir cismi tarar ve bu bilgiyi cismin tekrar oluşturulduğu uzak bir konuma gönderir. Bir kurgudan diğerine değişmekle birlikte, ya cismin kendisi "maddesizleştirilerek" atom ve molekülleri tekrar birleştirilmek üzere bir planla birlikte gönderilir ya da alıcı tarafındaki atom ve moleküller cismin tam bir kopyasını oluşturmak üzere birleştirilir. Göreceğimiz gibi, son on yılda tele-taşıma için geliştirilen bilimsel yaklaşım, bu ikinciye daha uygundur ve bu durumda ortaya iki temel soru çıkar. Birincisi zorlu bir felsefi bilmecedir: Eğer başarılabilirse, tam kopya ne zaman aslı imiş gibi tanımlanacak, adlandırılacak, çağırılacak ya da ona aslı imiş gibi davranılacaktır? ikincisi de, ilke olarak bile olsa, bir cismi inceleyerek bileşimini, onu yeniden oluşturmayı sağlayacak bir planını çıkarmaya yetecek bir mükemmellikte belirlemenin mümkün olup olmadığıdır.

Klasik fizik yasalarıyla yönetilen bir evrende, ikinci soruya verilecek cevap evet olacaktır. İlke olarak bir cismi oluşturan her parçacığa ilişkin bilgiler -her parçacığın kimliği, konumu, hızı vb.- tam bir kesinlikle ölçülebilir, uzak bir yere gönderilebilir ve cismi yeniden yaratmak için bir el kitapçığı olarak kullanılabilir. Bir avuç temel parçacıktan daha fazla sayıda parçacıktan oluşan bir cisim için bunu yapmak olanaksız derecesinde güçtür ama klasik evrende engel fizik değil karmaşıklık olacaktır.

Kuantum fiziği yasalarıyla yönetilen bir evrende -bizim evre-nimiz- durum çok daha zordur. Ölçme işleminin, bir cismin olası bütün durumlarının bir arada bulunduğu kuantum pusunun içinden bir anda sıyrılıp belirli bir değer almasına neden olduğunu öğrenmiştik. Örneğin, bir parçacığı gözlediğimizde bulduğumuz kesin nitelikler, genel olarak ona bakmamızdan bir an önce içinde bulunduğu niteliklerin bulanık kuantum karışımının bir yansıması değildir. Bu yüzden eğer bir cismin aynısını yapmak istiyorsak, bir kuantum yakalama oyunuyla karşı karşıyayız demektir. Aynısını yapmak için, neyin aynısını yapacağımızı gözlemeliyiz. Ama gözlem işlemi değişime neden olur, bu yüzden eğer gördüğümüzün

aynısını yapacaksak bu, biz bakmadan önceki şeyin aynısı olmaz. Bu da bir kuantum evreninde tele-taşımanın, yalnızca karmaşıklıktan kaynaklanan pratik sınırlamalar nedeniyle değil, kuantum mekaniğinin yapısında bulunan temel sınırlamalar nedeniyle gerçekleştirilemeyeceği anlamına gelir. Bununla birlikte gelecek bölümde göreceğimiz gibi, 1960'larda uluslararası bir fizikçi ekibi, bu sonucu engelleyen, zekice bir yol bulmuştu.

İlk soruya gelince, cismin aslı ve kopyası arasındaki ilişkiler bakımından kuantum fiziği hem kesin hem de cesaret verici olan bir cevap verir. Kuantum mekaniğine göre evrendeki her elektron diğeriyle aynıdır. Hepsinin kütleleri, elektrik yükleri, zayıf ve güçlü nükleer kuvvet özellikleri ve toplam spinleri tam olarak diğerleri ile aynıdır. Üstelik iyi sınanmış olan kuantum mekaniğine özgü tanımlamalarımız, bunların bir elektronun sahip olabileceği özelliklerin tamamı olduğunu söyler: Elektronların bütün bu özellikleri birbirleri ile aynıdır ve başkaca göz önüne alınması gereken özellik yoktur. Aynı anlamda her yukarı-kuark diğerleriyle aynıdır, her aşağı-kuark diğerleriyle aynıdır, her foton diğerleriyle aynıdır, bütün diğer parçacık türleri için de bu, böyledir. Kuantum uygulayıcıları tarafından onlarca yıl önce anlaşıldığı gibi, parçacıklar bir alanın olası en küçük paketçikleri olarak düşünülebilirler (örneğin fotonlar elektromanyetik alanın en küçük paketçikleridir) ve kuantum fiziği aynı alanın böyle en küçük bileşenlerinin her zaman aynı olduğunu gösterir. (Veya sicim kuramı yapısında, aynı türden parçacıkların özellikleri aynıdır çünkü bunlar tek bir sicim türünün aynı titreşimleridir.)

Aynı türden iki parçacık arasında değişebilecek olan, bunların farklı konumlarda bulunabilme olasılıkları, spinlerinin belirli yönleri gösterme olasılıkları ve belirli hızlara ve enerjilere sahip olma olasılıklarıdır. Veya fizikçilerin daha kısa ve özlü olarak dedikleri gibi, iki parçacık farklı kuantum durumlarında bulunabilirler. Ama eğer aynı türden iki parçacık aynı kuantum durumunda ise -bir parçacığın yüksek bir olasılıkla orada olması, diğer parçacığınsa yüksek bir olasılıkla burada olması dışında- kuantum mekaniği yasaları bunların yalnızca pratikte değil, ilke olarak da birbirinden ayırt edilememesine neden olur. Bunlar mükemmel ikizlerdir. Eğer birisi bu parçacıkların yerlerini değiştirirse (daha doğru bir deyişle, bu parçacıkların verilen bir konumda olma olasılıklarını değiştirirse) bunu anlamanın kesinlikle hiçbir yolu yoktur.

Bu yüzden, eğer burada konumlanmış bir parçacıkla başladığımızı varsayarsak ve aynı türden bir parçacığın uzak bir yerde, bir şekilde tam

olarak aynı kuantum durumunda olmasını sağlarsak (spin yönü, enerji vb. için aynı olasılıklar), ortaya çıkan parçacık özgün parçacıktan ayırt edilemez ve bu sürece haklı olarak kuantum tele-taşıma adı verilebilir. Elbette özgün parçacık varlığını sürdürüyorsa bu sürece kuantum kopyalamaya da kuantum fakslama adını da verebilirsiniz. Ama göreceğimiz gibi, bu fikirlerin bilimsel olarak gerçekleştirilmesi özgün parçacığın korunmasını sağlamaz -parçacık tele-taşıma sırasında kaçınılmaz olarak değişikliğe uğrar- o nedenle bu ikilemle karşılaşmayacağız.

İşin filozofların da çeşitli şekillerde yakından incelediği, daha baskılayıcı yanı, tek bir parçacık için doğru olan bir şeyin bir yığın için de doğru olup olmadığıdır. Eğer otomobilinizi oluşturan her parçacığı, her birinin kuantum durumunu ve aralarındaki ilişkileri koruyarak, yüzde 100 doğrulukla tele-taşıma ile başka bir yere taşıyabilseydiniz, otomobilinizi tele-taşımış olur muydunuz? Her ne kadar bize kılavuzluk yapacak deneysel bir kanıtımız yoksa da, tele-taşınmış bir otomobile sahip olma konusunda kuramsal destek güçlüdür. Bir cismin nasıl göründüğünü, nasıl bir his uyandırdığını, nasıl ses çıkardığını, nasıl koktuğunu, hatta tadının nasıl olduğunu atom ve moleküller arasındaki ilişkiler belirler. O yüzden ortaya çıkan otomobil, özgün araca her şeyiyle benzemelidir -çarpıkları, çizikleri, gıcırdayan sürücü kapısı, içine sinmiş olan köpeğinizin kokusu, her şey- ve otomobil, tıpkı özgün araç gibi keskin dönemeç alabilmeli, gaz pedalına sonuna kadar basıldığında tam olarak aynı tepkiyi vermelidir. Aracın gerçekten özgün mü yoksa tam bir kopya mı olduğu sorusunun önemi yoktur. Eğer otomobilinizi New York'tan Londra'ya getirmeleri için Birleşik Kuantum Taşımacılık (United Quantum Van Lines) kargo şirketiyle anlaşmış olsanız ve onlar da size haber vermeden otomobilinizi, yukarda anlatıldığı gibi tele-taşımış olsalar, farkı, ilke olarak bile olsa anlayamazdınız.

Ama kargo şirketi aynı şeyi kedinize yapsaydı veya uçakta verilen yemeklerden bıktığınız için Atlas Okyanusu-ötesi yolculuğunuzu tele-taşıma yöntemiyle yapmaya karar verseydiniz? Alıcı odadan çıkan kedi veya insan, tele-taşıyıcıya girenle aynı olur mu? Kişisel olarak ben öyle düşünüyorum. Tekrarlayayım, elde bu konuda veri olmadığı için ancak tahminde bulunabilirim. Ama benim düşünce biçimime göre, bileşen atomları ve molekülleri benimkilerle tam olarak aynı kuantum durumunda olan birisi benimdir. Hatta özgün "ben ", "kopya" yapıldıktan sonra varlığını sürdürüyor olsa bile, hiç duraksamadan bunlardan ikisinin de ben olduğumu söyleyebilirim (söyleyebiliriz). İkimizin de aklı (zihni), hiçbirimizin

diğerine önceliği olmadığı konusunda -tamamıyla- aynı olacaktır. Düşünceler, hatıralar, duygular ve kararların insan vücudunun atomik ve moleküler özelliklerinde fiziksel bir temeli vardır; bu temel bileşenlerin aynı kuantum durumunda olmaları aynı bilinç durumuyla sonuçlanmalıdır. Zaman geçtikçe deneyimlerimiz bizi farklılaştıracaktır ama bu andan sonra gerçekten iki ben olacağına inanıyorum. Bunlardan biri gerçek "ben", diğeri "kopya" olmayacaktır.

Aslında bu konuda biraz daha serbest olmak istiyorum. Fiziksel bileşimimiz sürekli olarak -kimi küçük, kimi büyük- dönüşümlere uğruyor ama aynı insan olarak kalmaya devam ediyoruz. Kanımızı yağ ve şekerle doyuran dondurmadan tutun, beynimizdeki çeşitli atomların spin eksenlerini değiştiren MRI çekimlerine, kalp nakline, yağ aldırma operasyonlarına, insan vücudunda ortalama olarak saniyenin her milyonda birinde değişen trilyonlarca atoma kadar sürekli bir değişim içinde olmamıza rağmen, kişisel kimliğimiz etkilenmiyor. O yüzden eğer tele-taşıma benim fiziksel durumumu tıpatıp kopyalamasa bile, yine de ortaya çıkan kişi benden ayırt edilemez. Bana göre, bu ben olur.

Elbette yaşamın, özellikle de bilinçli yaşamın fiziksel bileşiminin ötesinde bir şeyleri daha olduğuna inanıyorsanız, o zaman sizin başarılı tele-taşıma konusundaki standartlarınız benimkilerden daha katı olacaktır. Bu ilginç konu -kişisel kimliğimizin fiziksel yapımıza nereye kadar bağlı olduğu sorusu- çeşitli nedenlerle yıllarca tartışıldı ama herkesi doyuracak bir cevap bulunamadı. Ben kimliğin tümüyle fiziksel yapı tarafından belirlendiğine inanıyor olsam da, diğerleri bu fikre katılmadı ve hiç kimse de kesin cevabı bildiğini iddia etmedi.

Ama canlı bir varlığı tele-taşımaya ilişkin bu varsayımsal soruya bakış açınızdan bağımsız olarak, bilim insanları, kuantum mekaniğinin mucizeleri yoluyla tek tek parçacıkların tele-taşınabileceğini gösterdiler hatta onları tele-taşıdılar.

Bunun nasıl olduğunu görelim.

Kuantum Dolanıklığı ve Kuantum Tele-Taşıma

1997'de başlarında o zamanlar Innsbruck Üniversitesi'nde çalışan Anton Zeilinger'in bulunduğu bir fizikçi ekibi ve Roma Üniversitesi'nden A. Francesco De Martini'nin başkanlığını yaptığı bir diğer ekip birbirinden bağımsız olarak tek bir fotonu tele-taşıma deneyini başarıyla gerçekleştirdiler. Her iki deneyde de belirli bir kuantum durumundaki foton laboratuvar içinde kısa bir meşale öteye tele-taşındılar ama sürecin bu tele-taşımayı herhangi bir mesafeye de başarıyla yapacağına inanmak için çok neden vardı. Her iki ekip de 1993'te bir fizikçi grubunun -IBM'in Watson Araştırma Merkezinden Charles Bennett; Montrai Üniversitesi'nden Gilles Brassard, Claude Crepeau ve Richard Josza; İsrailli fizikçi Asher Peres ve Williams Koleji'nden William Wooters- kuantum dolanıklığına (Bölüm 4) ilişkin makalelerindeki kuramsal görüşlere dayanan bir teknik kullandılar.

Dolanık iki parçacığın, diyelim iki fotonun, birbirleriyle garip ama yakın bir ilişkileri olduğunu hatırlayın. Her birinin şu veya bu yönde spine sahip olma olasılıkları belirli iken ve ölçüldüğünde her biri değişik olasılıklardan birini "seçiyor" gibi görünüyor olmalarına rağmen, aralarındaki uzaklık ne olursa olsun, biri neyi "seçerse" öbürü de aynı anda onu seçiyor. Bölüm 4'te dolanık parçacıkları kullanarak bir yerden diğerine ışık hızından daha büyük bir hızla haber göndermenin bir yolu olmadığını görmüştük. Eğer bir dizi dolanık parçacığın her birinin birbirinden uzak yerlerde ölçümü yapılırsa, her iki detektörde ölçülen veriler (şu ya da bu yönde spine sahip olma olasılıkları parçacıkların olasılık dalgalarıyla tutarlı olmak üzere) olası sonuçların rasgele bir dizisi olur. Dolanıklık ancak iki sonuç listesi karşılaştırılıp birbirinin aynı olduğu görüldüğünde ortaya çıkar. Ama bu karşılaştırma bir tür sıradan, ışık hızından daha yavaş haberleşme türü gerektirir. Karşılaştırma yapılmadan önce dolanık olmanın hiçbir izi belirlenemeyeceği için, ışıktan hızlı bir sinyal göndermek olanaklı değildir.

Bununla birlikte, her ne kadar dolanıklık ışıktan hızlı haberleşme için kullanılamıyorsa da, parçacıklar arasındaki bağlantı öylesine gariptir ki, insan kendini bunun sıra dışı bir işe yaraması gerektiğini hissetmekten alıkoyamaz. 1993'te Bennett ve çalışma arkadaşları böyle bir olasılık keşfettiler. Kuantum dolanıklılığının kuantum tele-taşıma amacıyla kullanılabileceğini gösterdiler. Işıktan daha hızlı haber gönderemiyor olabilirsiniz ama eğer bir parçacığın buradan oraya ışıktan daha yavaş tele-taşınmasına razı olursanız, bunun yöntemi dolanıklık olabilir.

Bu sonucun ardındaki düşünüş mantığı matematiksel olarak basit olmakla birlikte, kurnazca ve zekicedir. Özetlemeye çalışalım.

New York'taki evimden Londra'daki arkadaşım Nicholas'a Foton A adını verdiğim özel bir fotonu tele-taşımak istediğimi varsayalım. Basit olsun diye fotonun spininin tam kuantum durumunu nasıl taşıyacağımı -yani Nicholas'ın alacağı fotonun spininin bir yönde ya da diğerinde olma özelliklerinin Foton A'nın spin özellikleriyle aynı olmasını nasıl sağlayacağımı- görelim.

Önce Foton A'nın spin özelliklerini ölçüp sonra Nicholas'ı telefonla arayarak, onun kendi tarafında spin özellikleri Foton A'nın spin özelliklerine uyan bir foton ayarlamasını isteyemem; bulacağım sonuç yaptığım gözlemden etkilenir, o yüzden Foton A'nın ben bakmadan önceki özelliklerini doğru olarak yansıtamam. O halde ne yapabilirim? İşte Bennett ve çalışma arkadaşlarına göre bunun ilk adımı Nicholas ve benim Foton B ve Foton C adını vereceğim dolanık iki fotondan birer tanesine sahip olmamız. Bu fotonları nasıl elde edeceğimizin önemi yok. Atlas Okyanusu'nun iki farklı yakasında olsak bile, Nicholas elindeki fotonun herhangi bir eksen çevresindeki spinini ölçse, bende elimdeki fotonun aynı eksen çevresindeki spinini ölçsem, tam olarak aynı değerleri bulacağımızdan emin olduğumuzu varsayalım. Bennett ve çalışma arkadaşlarına göre ikinci adım Foton Ayı -tele-taşıdığım fotonu- ölçmek değildir çünkü bu çok ciddi bir müdahale olur. Bunun yerine Foton A'nın ve dolanık Foton B'nin ortak özelliklerini ölçmeliyim. Örneğin, kuantum kuramı spinlerini ayrı ayrı ölçmeden Foton A ve Foton B'nin dik eksen çevresinde aynı spine sahip olup olmadıklarını ölçmeme olanak verir. Benzer biçimde kuantum kuramı spinlerini ayrı ayrı ölçmeden Foton A ve B'nin yatay eksen çevresinde aynı spine sahip olup olmadıklarını ölçmeme de olanak verir. Böyle ortak bir ölçümle Foton A'nın spinini öğrenemem ama Foton A'nın spininin Foton B'nin spinine nasıl bağlı olduğunu öğrenebilirim. Bu önemli bir bilgidir.

Uzaktaki Foton C, Foton B ile dolanıktır, o nedenle eğer Foton A'nın Foton B ile olan bağını öğrenebilirsem, Foton A'nın Foton C ile olan bağını da öğrenebilirim. Eğer şimdi bu bilgiyi, Foton A'nın spininin Foton C'ye göre nasıl olduğunu telefonla Nicholas'a iletirsem, o da Foton C'nin kuantum durumunu Foton A'nınkine uyacak şekilde nasıl ayarlayacağını belirleyebilir. Gerekli ayarlamayı yaptıktan sonra onun fotonunun kuantum durumu Foton A ile aynı olacaktır ve bu da Foton A'nın başarılı bir biçimde tele-taşındığını söyleyebilmemiz için gereken bilginin tümüdür. En basit durumda, örneğin, ölçümlerim Foton B'nin spininin Foton A'nınki ile aynı

olduğunu gösterirse, o zaman Foton C'nin spininin de Foton A'nınki ile aynı olduğu sonucuna varabiliriz ve daha fazlasına gerek kalmadan tele-taşıma tamamlanmış olur. Foton C, amaçlandığı gibi, Foton A ile aynı kuantum durumunda olur.

Ya da neredeyse diyelim. Fikir kabaca budur ama kuantum tele-taşımayı yönetilebilir adımlar halinde açıklayabilmek için şimdiye kadar bu öyküdeki kesinlikle en önemli öğeyi atladım, şimdi bunu tamamlayayım. Foton A ve Foton B üzerinde ortak ölçümler yaparken, aslında Foton A'nın spininin Foton B'ninki ile bağını bulurum. Ama her ölçümde olduğu gibi, ölçümün kendisi fotonları etkiler. Bu yüzden ölçümden önce Foton A'nın spininin Foton B'ninki ile olan ilişkisini bilemem. Her ikisi de ölçüm eyleminden etkilendikten sonraki ilişkilerini bilirim. Bu yüzden, ilk bakışta, tanımladığım Foton Ayı uzakta kopyalamak konusunda aynı kuantum engeliyle karşı karşıyaymışız gibi gelir: Ölçüm eyleminin kaçınılmaz bozucu etkisi. işe Foton C'nin imdada yetiştiği yer, burasıdır. Foton B ve Foton C bağlantılı olduğu için, Foton B üzerinde neden olduğum bozucu etki Londra'daki Foton C'nin kuantum durumunda da kendini gösterir. Bölüm 4'te ayrıntılı olarak anlatıldığı gibi, kuantum dolanıklığının mucizevî doğası budur. Gerçekten, Bennett ve çalışma arkadaşları, Foton B ile olan bağlantısından ötürü, benim ölçümlerimin bozucu etkisinin uzakta bulunan Foton C üzerinde de ortaya çıktığını matematiksel olarak gösterdiler.

İşte inanılmaz derecede ilginç olan budur. Benim ölçümümle Foton A'nın spininin Foton B'ninki ile olan ilişkisini öğreniyoruz, ama her iki fotonda da benim işe karışmamdan kaynaklanan bozulma olduğunu ortaya koyan sorunla birlikte. Ama dolanıklık nedeniyle Foton C de benim ölçümüme bağlıdır -binlerce kilometre uzakta olsa bile- ve bu da bozulmanın etkisini ayırt etmemizi sağlar ve böylece normal olarak ölçüm sürecinde kaybolan bilgiye ulaşabiliriz. Şimdi Nicholas'ı arayarak ölçüm sonucumu söylersem, bozulmadan sonra Foton A ve Foton B'nin spinleri arasındaki ilişkiyi öğrenir ve Foton C aracılığıyla bozulmanın etkisine ulaşabilir. Bu da Nicholas'ın Foton C'yi kullanarak, aşağı yukarı benim ölçümümden kaynaklanan bozulmayı çıkarmasını ve Foton Ayı kopyalama işinin önündeki engeli böylece aşmasını sağlar. Gerçekte, Bennett ve çalışma arkadaşlarının ayrıntılı olarak gösterdiği gibi, Foton C'nin spinine basit bir müdahale ile (benim telefonda Foton A'nın spininin Foton B'ninki ile ilişkisini söylememle) Nicholas spin açısından Foton C'nin, benin ölçümümden önceki Foton A'nın kuantum durumunu kopyalamasını

sağlayacaktır. Üstelik her ne kadar spin bir fotonun karakteristik özelliklerinden yalnızca biri ise de, Foton Anın kuantum durumunun diğer özellikleri (belirli bir enerjiye sahip olma olasılığı gibi) aynı şekilde kopyalanabilir. Böylece, bu süreç kullanılarak Foton Ayı New York'tan Londra'ya tele-taşıyabiliriz.

Görebileceğiniz gibi, kuantum tele-taşıma her biri kritik önemde olan ve diğerini tamamlayan bir bilgiyi taşıyan iki aşamadan oluşur. Birincisi, tele-taşımak istediğimiz fotonla birlikte dolanık foton çiftinden birini ortak olarak ölçeriz. Ölçümden kaynaklanan bozulma, dolanık çiftin uzaktaki üyesinde de kuantum acayipliği ve kuantumun yerel olmayışı nedenleriyle ortaya çıkar. Bu, tele-taşıma sürecinin net bir biçimde kuantum karakterli olan birinci aşamasıdır, ikinci aşamada ölçümün kendisinin sonucu, tele-taşımanın klasik kısmı olarak adlandırabileceğimiz bir süreçle uzaktaki alıcıya daha sıradan araçlarla (telefon, faks, e-posta...) iletilir. Birinci ve ikinci aşamalar birleştirildiğinde, tele-taşımak istediğimiz fotonun tam kuantum durumu, basit bir operasyonla (belirli eksenler çevresinde belirli miktarlarda döndürmek gibi) dolanık bir çiftin uzaktaki üyesinde yeniden oluşturulabilir.

Kuantum tele-taşımanın birkaç kilit özelliğine dikkat edin. Fo-ton A'nın özgün kuantum durumu ölçüm tarafından bozulduğu için, Londra'daki C Fotonu özgün durumda olan tek fotondur. Özgün Foton A'nın iki kopyası bulunmadığı için bunu kuantum fakslaması değil, kuantum tele-taşıma olarak adlandırmak çok daha doğru olur. Üstelik Foton Ayı New York'tan Londra'ya taşımış olsak da -Londra'daki foton bizim New York'taki özgün fotonumuzdan ayırt edilemez olsa da- Foton A'nın kuantum durumunu bilemeyiz. Ben işe karışmadan önce Londra'daki fotonla Foton A'nın bir yönde ya da diğerinde spine sahip olma olasılıkları aynıdır ama bu olasılığın ne olduğunu biz bilmiyoruz. Gerçekten kuantum tele-taşımanın püf noktası budur. Ölçümden kaynaklanan bozulma bizim Foton A'nın kuantum durumunu belirlememizi engeller, ama anlatılan yaklaşımda fotonu tele- taşımak için onun kuantum durumunu bilmek çorunda değiliz. Yalnızca onun kuantum durumundaki bir özelliği -Foton B ile ortak ölçümden öğrendiğimiz şeyi- bilmek zorundayız. Uzaktaki Foton C ile kuantum dolanıklığı geri kalanı halleder.

Bu stratejiyi kuantum tele-taşıma için uygulamak kolay bir iş değildir. 1990'ların başlarında dolanık bir çift foton yaratmak sıradan bir süreçti ama iki fotonun ortak ölçümleri (teknik olarak Bell-durumu ölçümleri olarak

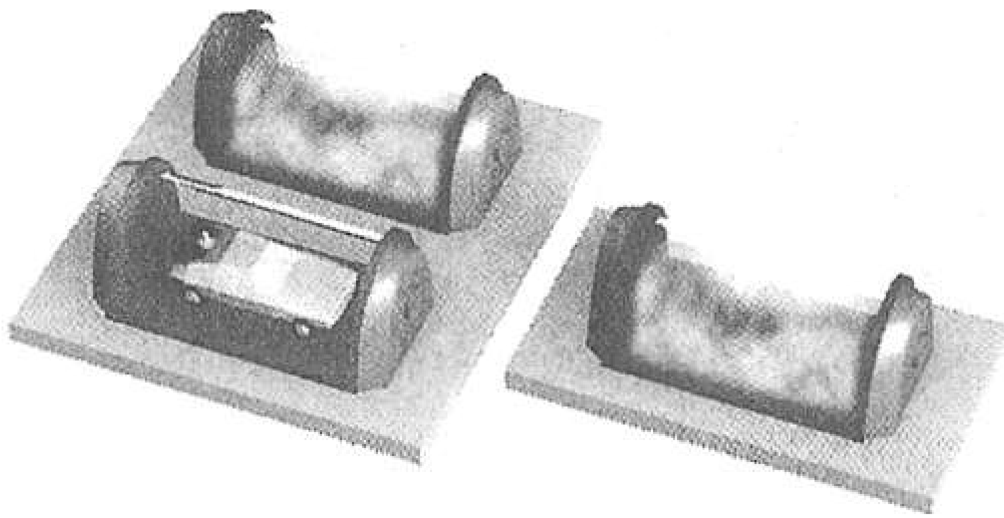
adlandırılan, yukarıdaki Foton A ve B'nin ortak ölçümleri) hiç denenmemişti. Hem Zeilinger hem de De Martini ekiplerinin başarısı, ortak ölçümler için zekice deneysel teknikler icat etmek ve bunları laboratuvarda gerçekleştirmektir. 1997'de bu amaca ulaşarak tek bir parçacığın tele-taşımasını gerçekleştiren ilk gruplar oldular.

Gerçekçi Tele-Taşıma

Siz, ben, otomobiliniz ve her şey çok sayıda parçacıktan oluştuğu(muz) için, sonraki doğal adım kuantum tele-taşımayı böyle büyük parçacık kümelerine uygulayarak makroskobik cisimleri bir yerden diğerine "ışınlama"nın yolunu açmaktır. Ama tek bir parçacığı tele-taşımakla makroskobik bir parçacık kümesini tele-taşımak arasındaki fark akıllara durgunluk verici olup, araştırmacıların şu anda gerçekleştirebileceklerinin çok çok öte-sindedir. Hatta bu alandaki çoğu önder araştırmacı uzak bir gelecekte bile bunun gerçekleştirilebileceğini pek düşünmüyor. Ama meraklılar için Zeilinger'in belki de günün birinde gerçeğe dönüşebilecek olan rüyası şöyle.

Otomobilimi New York'tan Londra'ya tele-taşımak istediğimi düşünelim. Nicholas ve benim dolanık bir foton çiftinin birer üyesine sahip olmamız yerine (tek bir fotonu tele-taşımak için gerektiği gibi), her birimizin yeterince proton, nötron, elektron ve bir otomobili yapmak için gerekli olan diğer parçacıklardan birer oda dolusu kadar parçacığa sahip olmamız, üstelik benim odamdaki parçacıkların Nicholas'ın odasındaki parçacıklarla kuantum dolanık olması gerekiyor (Şekil 15.1'e bakınız). Aynı zamanda otomobilimi oluşturan parçacıklarla odamda sağa sola hareket edip duran parçacıkların ortak özelliklerini ölçecek bir alete de sahip olmalıyım (Foton A ve Foton B'nin ortak özelliklerini ölçmenin benzeri). İki odadaki parçacıkların dolanık olması yoluyla New York'ta yaptığım ortak ölçümlerin etkisi, Nicholas'ın Londra'daki odasında bulunan dolanık parçacıklarda da görülecektir (Foton C'nin durumunun A ve B'nin ortak ölçümlerini yansıtmasının benzeri). Eğer Nicholas'ı arar ve ölçümlerimin sonucunu ona aktarırsam (Nicholas'a 1030 sonuç aktaracağım için bu, pahalı bir görüşme olacaktır), veriler ona odasındaki parçacıkları nasıl değiştirebileceği konusunda bilgi verecektir (tıpkı önceki telefon görüşmemizde Foton Cyi nasıl değiştireceğini bildirmem gibi). Nicholas işini bitirdiğinde, odasında bulunan her parçacığın kuantum durumu

otomobildeki her parçacığın durumuyla tam olarak aynı olacak (ölçüm yapılmadan önce) ve böylece, tıpkı önceki incelememizde olduğu gibi, şimdi Nicholas'ın bir otomobili olacaktır. Otomobilin New York'tan Londra'ya tele-taşıması tamamlanmış olacaktır.



Şekil 15.1 Tele-taşımaya hayalci bir yaklaşım, birbirlerinden uzakta olan ve kuantum dolanık parçacıklarla dolu iki odayı ve tele-taşınacak cismi oluşturan parçacıklarla birlikte odalardan birindeki parçacıkları aynı anda ölçebilecek bir aracı göz önüne alır. Bu ölçümlerin sonucu, daha sonra ikinci odadaki parçacıkları cismi kopyalayacak şekilde değiştirmek ve tele-taşımayı sonuçlandırmak için gerekli olan bilgileri sağlar.

Ama dikkat ederseniz, günümüzde kuantum tele-taşımanın her adımı henüz hayaldir. Otomobil gibi bir cisim milyar kere milyar kere milyardan daha fazla sayıda parçacıktan oluşur. Deneyciler bir çiftten daha fazla parçacığın dolanıklıklarıyla uğraşırken, makroskobik nesnelere ilişkin sayılara ulaşmanın henüz çok çok uzağındalar. İki oda dolusu dolanık parçacık hazırlayabilmek henüz saçma diyebileceğimiz ölçüde erişimimizin ötesindedir. Üstelik iki fotonun ortak ölçümü kendi başına bile son derece zor ve etkileyici bir başarıdır. Bunu milyarlarca ve milyarlarca parçacığa uygulayabilmek, bugün için hayal bile edilemez. Şu anda durduğumuz yerden bakıldığında, fazla tutkulu olmayan bir değerlendirme ile makroskobik bir cismin en azından tek parçacığa uyguladığımız yolla tele-taşınmasının -eğer sonsuzluk değilse bile- çağlarca uzakta olduğu sonucuna varılacaktır.

Ama bilim ve teknolojide tek değişmeyen şeyin "olmaz" keha-netlerinin aşıldığının görülmesi olduğundan yalnızca açık olan bir şeyi söyleyeceğim: Makroskobik cisimlerin tele-taşınması olanaksız görünüyor. Ama kim bilebilir? Kırkyıl önce Atılgan 'ın bilgisayarı da olanaksız gibi görünüyordu.

Zamanda Yolculuğun Bilmeceleri

Eğer makroskobik cisimleri tele-taşımak FedEx'i çağırmak ya da metroya binmek kadar kolay olsaydı, hayatın çok farklı olacağı açıktır. Pratik olmayan veya olanaksız yolculuklar yapılabilecek ve uzayda yolculuk kavramında devrimci değişiklikler gerçekleşecekti.

Bu durumda bile, evreni algılayışımıza tele-taşımanın etkisi, zamanda isteğe bağlı yolculuk yapmanın alt-üst edici etkisiyle karşılaştırıldığında sönük kalırdı. Yeterince çaba gösterildiğinde, en azından ilke olarak, buradan şuraya gidebileceğimizi herkes bilir. Uzayda yolculuk konusunda bazı teknolojik sınırlamalar olsa da, bu sınırlar içinde uzaydaki yolculuklarımıza seçim ve istekler kılavuzluk eder. Ama ya "şimdi"den "o zaman" a gitmek? Deneyimlerimiz bize bunun bir tek yolu olduğunu söyler: Beklemek, saniyelerin birbirini kovalaması "şimdi"den "o zaman"a gidebilmenin yolunu açar. Burada "o zamanın" "şimdiden" sonra geldiği varsayılır. Eğer "o zaman", "şimdiden" önce geliyorsa, deneyimlerimiz bize oraya gitmenin herhangi bir yolu olmadığını söyler; geçmişe yolculuk bir seçenek gibi görünmez. Uzayda yolculuktan farklı olarak zamanda yolculuk seçim ve isteklerden bağımsızdır. Zaman söz konusu olduğunda isteyelim, istemeyelim bir yöne doğru sürükleniriz.

Eğer uzayda dolaşabildiğimiz kolaylıkla zamanda da dolaşa- bilseydik, hayata bakışımız değişmekle kalmaz, insanlık tarihindeki en büyük dönüşümü yaşardık. Bu inkâr edilemez etkinin ışığında geçen yüzyılın başlarında birkaç kişinin zamanda yolculuğun bir türünün -geleceğe doğru yolculuk- kuramsal temellerini keşfetmiş olmalarına şaşırıyorum.

Einstein özel göreliliğin uzay-zamanının doğasını keşfettiğinde ileriye doğru hızlı sarmanın planlarını bulmuştu. Eğer Dünya da 1000 yıl veya 10.000 yıl veya 10 milyon yıl sonra neler olup-biteceğini görmek isterseniz, Einstein fiziğinin yasaları bunu nasıl yapabileceğinizi söyler. Hızı ışık hızının yüzde 99,9999999996'sı olan bir araç yaparsınız. Tam gazla uzayın

derinliklerine doğru uzay aracınızın saatiyle bir gün veya on gün veya yirmi yedi yıldan biraz daha uzun süreyle yol alır, keskin bir dönüş yapar ve yine tam gaz Dünyaya dönersiniz. Döndüğünüz zaman, Dünya zamanı ile 1000 veya 10.000 veya 10 milyon yıl geçmiş olacaktır. Bu, özel göreliliğin tartışılmaz ve deneysel olarak kanıtlanmış bir sonucudur; Bölüm 3'te işlediğimiz, hızın artırılarak zamanın yavaşlatılmasının bir örneğidir. Elbette böyle uzay araçları inşa edemeyeceğimiz için hiç kimse bu öngörüleri tanı olarak sınayamamıştır. Ama daha önce tartıştığımız gibi, araştırmacılar öngörülen yavaşlamayı ışık hızının çok küçük bir kesri kadar hızla giden normal bir uçakta ve parçacık hızlandırıcılarında ışık hızına yakın hızlara ulaşan müon gibi parçacıklarda doğrulamışlardır (durağan müonlar yaklaşık olarak saniyenin milyonda ikisi kadar kısa bir zamanda başka parçacıklara bozunurlar ama hızla hareket ettiklerinde içsel saatleri yavaşladığı için müonlar bozunmadan daha uzun yaşarlar). Özel göreliliğin doğru olduğuna ve geleceğe ulaşmak için önerdiği stratejinin doğru işleyeceğine inanmak için her türlü neden vardır.

Bizim bu zamana mahkûm olmamıza neden olan fizik değil teknolojidir.

Zamanda diğer yöne, geçmişe doğru yolculuğu düşündüğümüzde daha zor konular ortaya çıkar. Bunlardan bazılarını hiç kuşkusuz biliyorsunuz. Örneğin, geçmişe giderek kendi doğumunuzu önlediğiniz, standart bir senaryo vardır. Pek çok kurgusal tanımlamalarda bu, şiddet kullanılarak yapılıyorsa da, şiddet içermeyen ama aynı derecede etkili bir yol daha vardır: Anne ve babanızın karşılaşmasını önlemek. Buradaki çelişki açıktır: Eğer hiç doğmadıysanız, o zaman geçmişe giderek anneniz ve babanızın karşılaşmasını nasıl engellediniz? Geçmişe gidip onların karşılaşmasını engellemek için doğmuş olmanız gerekir; ama eğer doğmuşsanız, geçmişe ulaşmışsanız ve anne-babanızın karşılaşmasını engellemişseniz, o zaman doğmamış olmanız ^rekir. Mantıksal bir çıkmaza girmiş durumdayız.

Oxford'lu bir filozof olan Michael Dummett'in ortaya koyduğu ve çalışma arkadaşı David Deutsch'un dikkat çektiği benzer bir çelişki aklı biraz farklı, belki biraz daha şaşırtıcı bir yolla çeler. Bir versiyonu şudur: Bir zaman makinesi yaptığımı ve on yıl geleceğe gittiğimi varsayalım. Tofu-4-U'da (büyük deli dana salgınının insanların cheeseburger yeme isteklerine set çekmesinden sonra McDonalds'ın yerini alan fast food zinciri) hızlı bir atıştırmadan sonra, bir internet kafe bulup sicim kuramındaki son gelişmeleri öğrenmek üzere çevrimiçi oluyorum. Mükemmel bir sürprizle karşılaşıyorum. Sicim kuramındaki bütün bilinmeyen konuların çözülmüş

olduğunu okuyorum. Kuram tam anlamıyla ortaya konmuş ve bütün bilinen parçacıkların özelliklerini başarıyla açıklıyor. Fazladan boyutlar konusunda tartışmasız kanıtlar bulunmuş ve Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda kuramın öngördüğü süpersimetrik parçacıklar -kütleleri, elektrik yükleri vb.- doğrulanmış. Artık kuşku yok: Sicim kuramı evrenin birleşik kuramı.

Bu büyük ilerlemelerde kimin katkısı olduğunu öğrenmek amacıyla biraz daha derin araştırmaya girdiğimde çok daha büyük bir sürprizle karşılaşıyorum. Atılımı getiren makale bir yıl kadar önce Rita Greene tarafından yazılmış. Annem. Şok geçiriyorum. Burada bir saygısızlık yaptığımı düşünmeyin: Annem mükemmel bir insandır, ama bilim insanı değildir, bir kimsenin neden bilim insanı olmak isteyebileceğini anlayamaz ve örneğin Evrenin Zarafeti kitabından birkaç sayfa okuduktan sonra bir kenara bırakıp, kitabın başını ağrıttığını söyler. Öyleyse nasıl olur da sicim kuramının kilit makalesini yazmış olabilir? Annemin makalesini çevrimiçi okuyor ve basit ama kavrayışla dolu mantığının güzelliğiyle havalara uçuyorum. Makalenin sonunda, korkularını yenip içindeki fizikçiyi uyandıran Tony Robbins'in bir seminerine katıldıktan sonra, yıllar süren yoğun matematik ve fizik öğretmenliğim için bana teşekkür ettiğini görüyorum. Evet, diye düşünüyorum. Ben geleceğe doğru yolculuğa çıkarken o seminere henüz kaydolmuştu. Kendi zamanıma geri gidip onu matematik ve fizik çalıştırmaya başlasam iyi olur.

Kendi zamanıma geri gidip anneme fizik ve matematik dersleri vermeye başlıyorum. Ama iyi gitmiyor. Bir yıl geçiyor. Sonra bir yıl daha. Her ne kadar sıkı çalışıyorsa da, bir sonuç yok. Endişelenmeye başlıyorum. Birkaç yıl daha çalışıyoruz ama elde ettiğimiz ilerleme son derece sınırlı. Artık gerçekten endişeleniyorum. Makalesinin çıkması için fazla zaman kalmadı. Nasıl yazacak? Sonunda büyük kararı veriyorum. Gelecekte onun makalesini okuduğumdan, içeriğini gün gibi açık hatırlıyorum. Bu yüzden onun kendi kendine keşfetmesini beklemek yerine -ki bu, giderek uzaklaşan bir olasılık haline geliyordu- ne yazacağını gösteriyor, her şeyin tam olarak okumuş olduğum gibi kapsanmasın! sağlıyorum. Makale yayımlanıyor, kısa sürede fizik dünyasında kıyamet kopuyor. Gelecekte, bugün hakkında okuduğum her şey gerçekleşiyor.

Şimdi sorun şu: Annemin büyük gürültü koparan bu makalesinde en büyük hak kimin? Elbette benim değil. Ben, sonuçlan makaleden okuyarak öğrendim. Ama ona ne yazması gerektiğini ben söylediğime göre, bu hak nasıl yalnızca anneme ait olabilir? Buradaki gerçek sorun, bir hak sorunu

değil, annemin makalesinde işlenen yeni bilginin, yeni görüşlerin ve yeni kavrayışın nereden geldiği. Kimi göstererek "Bu kişi ya da bu bilgisayar yeni sonuçlarla ortaya çıktı" diyebilirim? Bu görüşler ne bana aitti, ne de anneme. İşin içinde başka birisi yok. Bilgisayar da kullanmadık. Buna rağmen bütün bu parlak fikirler bir şekilde makaleye girdi. Görünüşe göre, hem geçmişe hem de geleceğe doğru yolculuğun olası olduğu bir dünyada bilgi havadan elde edilebiliyor. Her ne kadar kendi doğumunuzu engellemek kadar çelişkili değilse de, bu durum da oldukça garip.

Böyle çelişkileri ve gariplikleri ne yapacağız? Geleceğe yolculuğa fizik yasalarınca izin verilirken, geçmişe dönmeye yönelik herhangi bir girişimin başarısızlığa uğraması gerektiği sonucuna mı varmamız gerekiyor? Bazıları böyle düşünüyor. Ama şimdi göreceğimiz gibi, uğraşmakta olduğumuz bu ilginç konuları çözmenin de yolları var. Bu, geçmişe yolculuğun olası olduğu anlamına gelmiyor -bu, biraz sonra ele alacağımız farklı bir konu- ama zamanda geriye gitmenin, biraz önce incelediğimiz bilmecelere başvurularak bertaraf edilebileceğini gösteriyor.

Bilmeceleri Yeniden Düşünmek

Bölüm 5'te zamanın akışını klasik fiziğin perspektifinden incelediğimizi ve sezgisel manzaradan çok daha farklı bir görünümle karşılaştığımızı hatırlayın. Dikkati bir düşünüş, zamanı bizi bir andan diğerine, ileriye doğru taşıyan bir nehre benzettiğimiz bilindik düşüncenin tersine, uzay-zamanı her anın içinde bir noktada donmuş olarak bulunduğu bir buz küpü olarak ele almamıza yol açmıştı. Bu donmuş anlar, farklı hareket durumlarında olan gözlemciler tarafından farklı şekillerde şimdiler -aynı anda olan olaylar- halinde gruplanır. Farklı şimdi kavramları için uzay-zaman bloğunu dilimleme esnekliği sağlamak amacıyla uzay-zamanın farklı açılarda dilimlenebilecek bir ekmek somunu olduğu benzetmesini kullanmıştık.

Ama bu benzetmeden bağımsız olarak Bölüm 5'ten çıkarılacak ders, anların -uzay-zaman somununu oluşturan olaylar olduğudur. Onlar zamandan bağımsızdır. Tıpkı uzayda her noktanın var olduğu gibi her an da -her olay- vardır. Anlar, bir gözlemcinin şimdisinin "spot lambasıyla" aydınlatıldıklarında, anlık olarak hayat bulmazlar; bu görünüm bizim sezgilerimizle uyumlu olmakla birlikte mantıksal bir çözümlemede ayakta kalamaz. Bir kez aydınlatıldığında hep aydınlatılmış olarak kalır. Anlar

değişmez. Anlar vardır. Aydınlatılmış olmak, bir anı oluşturan pek çok değişmez özellikten yalnızca biridir. Bu, evrenin tarihini oluşturan bütün olayların manzaranın içinde olduğu, durağan ve değişmez olarak orada olduğu Şekil 5.1'in düşsel ama kavrayış dolu perspektifinde açıkça görülür. Farklı gözlemciler hangi olayların aynı anda olduğu konusunda anlaşamaz - bu gözlemciler uzay-zaman somununu farklı açılarda dilimler- ama somunun bütünü ve onun içindeki olaylar evrenseldir.

Kuantum mekaniği zamanın bu klasik perspektifinde belirli bazı değişiklikler önerir. Örneğin, Bölüm 12'de çok kısa ölçeklerde uzayın ve uzay-zamanın kaçınılmaz olarak dalgalı ve tüm- sekli olduğunu görmüştük. Ama (Bölüm 7), kuantum mekaniği ve zamanın tam doğrulanması, kuantum ölçüm probleminin çözümlenmesini gerektirir. Bunu yapmak üzere ileri sürülen önerilerden biri olan Birçok Dünya yorumu, zamanda yolculuktan kaynaklanan çelişkilerle başa çıkabilmekle özel olarak ilintilidir, bunu önümüzdeki alt-bölümde göreceğiz. Ama bu bölümde klasik kalalım ve uzay-zamanın buz bloğu/ekmek somunu gösterimini bu bilmecelere uygulamaya çalışalım.

Zamanda geriye giderek anne ve babanızın karşılaşmasını engellediğiniz, çelişkili örneği ele alalım. Bunun ne anlama gelmesi gerektiğini sezgisel olarak hepimiz biliyoruz. Ama siz geçmişe yolculuk yapmadan önce anne ve babanız, diyelim 31 Aralık 1965 gecesi yeni yıl partisinde karşılaşmış ve bir süre sonra anneniz doğum yapmış ve sizi dünyaya getirmiştir. Yıllar sonra geçmişe -31 Aralık 1965 gecesine- geri dönmeye karar veriyorsunuz ve oraya vardığınızda bazı şeyleri değiştiriyorsunuz, özellikle anne-babanızın karşılaşmalarını engelleyerek annenizin size hamile kalmasını ve sizi doğurmasını engelliyorsunuz. Ama şimdi bu sezgisel tanımlamayı, mantıksal olarak ayakları yere basan, zamanın uzay-zaman somunu tanımı içinde karşılayalım.

Bu sezgisel tanımlama daha temelinde anların değiştirilebileceğini varsaydığı için anlamsızlaşıyor. Bu görünüm, saatin 31 Aralık 1965 gece yarısını çalışını (standart Dünyalı zaman- dilimlemesi ile) "başlangıçta" anne ve babanızın karşılaştığı an olarak alıyor ama "sonradan", sizin işe karışmanızla her şeyi değiştiriyor öyle ki, 31 Aralık gecesi anne ve babanız ayrı kıtalarda olmasalar bile birbirlerinden kilometrelerce uzakta oluyorlar. Olayların yeniden sayılıp dökülmesindeki sorun, anların değiş- memesidir; görmüş olduğumuz gibi, anlar yalnızca vardır. Sabit ve değişmez olarak

uzay-zaman somunu vardır. Bir anın "önce" şöyle, "sonra" böyle olmasının bir anlamı yoktur.

Eğer 31 Aralık 1965'e geri gitmişseniz, oradasınız, hep oradaydınız, hep orada olacaksınızdır, hiçbir zaman orada değil değildiniz. 31 Aralık 1965, birincisini kaçırıp tekrarını yakaladığınız anlamında iki kere olmadı. Şekil 5.1 in zamanın dışındaki perspektifine göre siz -durağan ve değişmez olarak- uzay-zaman somununun içinde çeşitli konumlarda varsınız. Eğer şimdi zaman makinenizi ayarlayıp 31 Aralık gecesi saat 11:50ye dönseniz, bu an da sizin uzay-zaman somununda bulunacağınız konumlar arasında olacaktır. Ama 1965 yılbaşı gece yarısındaki varlığınız, uzay-zamanın ebedi ve değişmez bir özelliği olacaktır.

Bu kavrayış bizi hâlâ tuhaf sonuçlara götürür ama artık çelişki yoktur. Örneğin, 31 Aralık gece yarısına doğru 11:50'de uzay- zaman somununda görünürsünüz ama bu andan önce varlığınızın hiçbir kaydı yoktur. Bu tuhaf olmakla birlikte çelişkili değildir. Eğer birisi sizin saat 11:50'de hop diye birdenbire ortaya çıktığınızı görüp, korku dolu gözlerle nereden geldiğinizi sorsa, sakin bir sesle "Gelecekten" cevabını verebilirsiniz. Bu senaryoda, en azından şimdiye kadar, mantıksal bir tutarsızlıkla karşılaşmadık. İşlerin daha da ilginç hale geldiği nokta, elbette görevinize devam edip anne ve babanızı ayırmanızdır. Ne olur? Uzay-zaman bloğu perspektifini dikkatli bir biçimde sürdürürsek, kaçınılmaz olarak başarısız olacağınız sonucuna varırız. Kaderi belirleyen o yılbaşı gecesinde ne yaparsanız yapın başarısız olursunuz. Her ne kadar yapabileceklerinizin arasında görünse de, anne-babanızı ayrı tutmak, mantıksal bir anlaşılmazlığa yol açar. Anne ve babanız saat gece yarısını çaldığında karşılaştılar. Siz oradaydınız. "Daima" orada olacaksınız. Her an, öyledir, değişmez. Bir "an" a değişimi uygulamaya kalkışmak, ancak bir kayaya psikanaliz yapmak kadar anlamlıdır. Anne ve babanız 31 Aralık 1965 gece yarısı karşılaştılar ve bunu hiçbir şey değiştiremez çünkü onların karşılaşmaları, uzay-zamanda sonsuza kadar kendi yerini işgal edecek olan, değiştirilemez bir olaydır.

Gerçekten, şimdi düşünün, onlu yaşlarınızda bir gün babanıza, annenize nasıl evlenme teklif ettiğini sormuştunuz, o da size aslında evlenme teklif etmeyi planlamamış olduğunu söylemişti. O büyük soruyu sormadan önce annenizle neredeyse hiç karşılaşmamıştı. Ama yeni yıl partisinde, gece yarısından on dakika önce birdenbire ortaya çıkıp, gelecekten geldiğini söyleyen adam öylesine garibine gitmişti ki, on dakika sonra annenizle karşılaştığında, hemen oracıkta evlenme teklif etmişti.

Burada dikkat edilecek nokta, uzay-zamandaki tam ve değişmez bir olaylar dizisinin anlamlı ve kendiyle tutarlı bir bütün oluşturmasıdır. Evren anlamlıdır. Eğer zamanda geriye, 31 Aralık 1965'e giderseniz, gerçekte kendi kaderinizin gereğini yerine getiriyorsunuz demektir. Uzay-zaman somununda, 31 Aralık 1965'te, daha önce orada olmayan biri vardı. Şekil 5.1'e varsayımsal, dış bir perspektiften bakıldığında, bunu doğrudan görebiliriz; inkar edilemez bir biçimde bu kişinin, şimdiki yaşınızdaki siz olduğunuzu görebiliriz. Onlarca yıl öncede yer alan bu olayların anlamlı olması için, geriye, 1965'e gitmelisiniz. Dahası, dış perspektiften, çok korkmuş görünen babanızın 31 Aralık 1965 gecesi 11:50'den hemen sonra size bir şeyler sorduğunu, koşarak uzaklaştığını, gece yarısı biraz uzakta annenizle karşılaştığını; somunda biraz ileride onların düğününü, sizin doğumunuzu, çocukluktan çıkışınızı ve daha sonra da zaman makinesine girişinizi görürüz. Eğer geçmişe yolculuk olası olsaydı, bir andaki olayları artık yalnızca daha önceki olaylarla açıklayamazdık (herhangi bir perspektiften); ama olayların tamamı zorunlu olarak anlamlı, tutarlı ve çelişkiye düşmeyen bir öykü oluştururdu.

Son alt-bölümde vurgulandığı gibi bu, hayal gücünün zorlanmasıyla, geçmiş zamana yolculuğun olası olduğu anlamına gelmez. Ama güçlü bir şekilde kendi doğumunuzu önlemek anlamına gelen çelişkilerin mantıksal hatalardan kaynaklandığını ileri sürer. Eğer geçmiş zamana yolculuk yapabilirseniz, geçmişi, pi sayısını değiştirebileceğinizin ötesinde değiştiremezsiniz. Eğer geçmişe gidebilirseniz, geçmişin, sizin ona yolculuk yapmanıza yol açan geçmişin bir parçasısınız, parçası olacaksınız ve daima parçası idiniz demektir.

Şekil 5.1 'in dış perspektifinden, bu açıklama hem sıkı, hem de tutarlıdır. Uzay-zaman somunundaki olayların tamamını incelersek, bunların kozmik bulmacayla iç içe geçmiş olduğunu görürüz. Ama yine de sizin 31 Aralık 1965'teki bakış açınızdan, her şey hâlâ şaşırtıcıdır. Yukarıda eğer anne-babanızı birbirlerinden uzak tutmakta başarılı olsaydınız bile, bu probleme klasik yoldan yaklaşamayacağınızı söylemiştim. Buluşmalarını izleyemezsiniz. Belki de anlattığım öyküdeki gibi buluşmalarını istemeyerek de olsa kolaylaştırabilirsiniz bile. Geçmiş zamana defalarca gidebilirsiniz, o yüzden her biri anne ve babanızın buluşmalarını engellemeye niyetli pek çok siz vardır. Ama anne ve babanızın buluşmalarını engellemekte başarılı olmanız, bir şeyi, değişim kavramının anlamsız olduğu başka bir şeye göre değiştirmek olur.

Ama bu soyut gözlemlerin sağladığı kavrayışla bile şunu sormadan edemiyoruz: Sizi başarılı olmaktan alıkoyan şey nedir? Eğer gece yarısına on kala partide iseniz ve annenizi gençken görmüşseniz, sizin onu oradan uzaklaştırmanızı engelleyen nedir? Veya babanızı gençken gördüğünüzde -olmaz ama diyelim- onu vurmaktan alıkoyan nedir? Özgür iradeniz yok mu? Bazılarının, kuantum mekaniğinin öyküye girebileceğini söyledikleri yer, işte burasıdır.

Özgür İrade, Birçok Dünya ve Zamanda Yolculuk

Özgür irade nazik bir konudur, yokluğuyla bile zamanda yolculuğu karmaşık hale getirir. Fizik yasaları belirleyicidir. Daha önce görmüş olduğumuz gibi, eğer her şeyin şimdi tam olarak nasıl olduğunu biliyorsanız (evrendeki her parçacığın konumu ve hızı), klasik fiziğin yasaları sizin belirleyeceğiniz herhangi bir başka anda her şeyin tam olarak nasıl olduğunu veya olacağını söyler. Denklemler, insan iradesinin varsayılan özgürlüğü karşısında tarafsızdır. Bazıları bunun, klasik bir evrende özgür iradenin aldatıcı bir görünüş, bir yanılsama olduğu anlamına geldiğini kabul eder. Siz bir parçacıklar kümesinden oluşuyorsunuz, o nedenle eğer klasik fizik sizi oluşturan parçacıklar hakkındaki her şeyi, her an belirleyebiliyorsa -neredeler, nasıl hareket ediyorlar vb.- sizin kendi eylemlerinizi belirlemeye yönelik özgür iradeniz tam anlamıyla tehlikede demektir. Bu mantık beni ikna ediyor ama bir parçacık kümesinden daha fazla bir şey olduğumuzu düşünenler bu konuda aynı fikirde olmayabilir.

Her neyse, içinde yaşadığımız evren klasik değil bir kuantum evreni olduğu için, bu gözlemlerin uygun olup olmadığı tartışma götürür. Kuantum fiziğinde yani gerçek dünya fiziğinde bu klasik fizik perspektifiyle benzerlikler olmakla birlikte, çok temel farklar da vardır. Bölüm 7'de okumuş olduğunuz gibi, eğer şimdi evrendeki her parçacığın kuantum dalga fonksiyonunu biliyorsanız, Schrödinger denklemi, sizin belirleyeceğiniz herhangi bir başka anda bu parçacıkların dalga fonksiyonlarının nasıl olduğunu veya nasıl olacağını söyler. Kuantum fiziğinin bu yanı tam anlamıyla klasik fizik gibi belirleyicidir. Ama yine de gözlem eylemi kuantum mekaniğine özgü öyküyü karmaşıklaştırır. Gördüğünüz gibi kuantum ölçüm problemi üzerinde hâlâ sürüp giden, sıcak bir tartışma vardır. Eğer fizikçiler günün birinde Schrödinger denkleminin kuantum mekaniğinin her şeyi olduğu sonucuna varırlarsa, o zaman kuantum fiziği

kendi bütünlüğü içinde klasik fizik kadar belirleyici olur. Klasik belirleyicilikte olduğu gibi bazıları bunun, özgür iradenin bir yanılsama olduğu anlamına geleceğini söyler; diğerleri ise buna katılmaz. Ama eğer şimdi kuantum öyküsünün bir bölümünü gözden kaçırıyorsak -eğer olasılıklardan kesin sonuçlara geçiş standart kuantum yapısının ötesinde bir şey gerektiriyorsa- o zaman, en azından özgür iradenin fiziksel yasalar içinde sağlam bir kavrayışa oturma olasılığı var demektir. Günün birinde, bazı fizikçilerin tahminde bulunduğu gibi, bilinçli gözlemin, kuantum mekaniğinin belirli sonuçların kuantum pusunun içinden çıkarak gerçekleşmesini sağlayan, ayrılmaz bir parçası olduğunu anlayabiliriz. Kişisel olarak bu olasılığın çok düşük olduğunu düşünüyorum ama onu bertaraf etmenin bir yolunu da bilmiyorum.

Sonuçta özgür iradenin durumu ve temel fizik yasaları içindeki rolü çözümlenmemiş olarak kalıyor. O halde her iki olasılığı da, yanılsama olarak özgür iradeyi ve gerçek olarak özgür iradeyi göz önüne alalım.

Eğer özgür irade bir yanılsama ise ve geçmiş zamana yolculuk yapmak olası ise, o zaman anne ve babanızın karşılaşmasını önleyememeniz bir bilmece oluşturmaz. Her ne kadar sanki eylemleriniz üzerinde bir kontrolünüz varmış gibi hissediyor olsanız da, aslında her şeyi yapan fizik yasalarıdır. Annenizi oradan uzaklaştırmak veya babanızı vurmak için oraya gittiğinizde fizik yasaları oradadır. Zaman makinesi sizi şehrin yanlış tarafına indirir, bu yüzden olay yerine anne ve babanız karşılaştıktan sonra ulaşırsınız, tetiği çektiğiniz anda tetik tutukluk yapar veya tetiği çekersiniz ama babanızı değil onun en büyük rakibini vurur, böylece birleşmelerinin önündeki engeli ortadan kaldırırsınız veya belki de zaman makinesinden dışarıya adım attığınızda artık anne ve babanızın buluşmalarını engellemek istemiyorsunuzdur. Zaman makinesine girerken sahip olduğunuz eğilimlere bakmaksızın çıktığınız zamanki eylemleriniz, uzay-zamanın tutarlı öyküsünün bir parçasıdır. Fizik yasaları mantığı bozacak bütün girişimleri sonuçsuz bırakır. Yaptığınız her şey yerine tam olarak uyar. Her zaman öyleydi ve öyle olacaktır. Değiştirilemez olan bir şeyi değiştiremezsiniz.

Eğer özgür irade bir yanılsama değilse ve geçmiş zamana yolculuk yapmak olası ise, kuantum fiziği olabilecekler konusunda seçenek öneriler ileri sürer ve klasik fizik üzerine temellendirilen formüllerden belirgin bir biçimde farklıdır. Deutsch tarafından savunulan, inandırıcı bir öneride, kuantum mekaniğinin Birçok Dünya yorumunu kullanılır. Bölüm 7'den, Birçok Dünya yapısında kuantum dalga fonksiyonunda somutlaşan olası her

sonucun -bir parçacığın bu veya şu yönde spine sahip olması, bir başka parçacığın burada veya şurada olması- kendi ayrı, paralel evreninde ortaya çıktığını hatırlayın. Herhangi bir anda haberdar olduğumuz evren, kuantum fiziği tarafından izin verilen her sonucun ayrı ayrı gerçekleştiği sonsuz sayıda evrenden yalnızca biridir. Bu yapıda şu veya bu seçimi yapmakta hissettiğimiz özgürlüğün, sonraki bir anda şu veya bu paralel evrene girmek zorunda olmamız olasılığını yansıttığını ileri sürmek çok çekicidir. Elbette sizin ve benim sonsuz sayıda kopyalarımız paralel evrenlere serpiştirilmiş durumda olduğu için, kişisel kimlik ve özgür irade kavramları, bu genişletilmiş bağlamda yeniden yorumlanmak zorundadır.

Zamanda yolculuk ve potansiyel çelişkiler için Birçok Dünya yorumu alışılmamış, yeni bir çözüm önerir. 31 Aralık 1965 gecesi 11:50 ye geri giderek silahınızı çeker, babanıza nişan alır, tetiği çekersiniz. Silah ateş alır ve hedefinizi vurursunuz. Ama sizin zamanda yolculuğa çıktığınız evrende olan bu olmadığı için, yaptığınız yolculuk yalnızca zaman içinde değil, aynı zamanda bir paralel evrenden diğerine olmalıdır. Şimdi kendinizi içinde bulduğunuz paralel evren, anne ve babanızın hiçbir zaman karşılaşmadığı -Birçok Dünya yorumunun bizi varlığı konusunda ikna ettiği (kuantum fiziğiyle tutarlı, olası her evren var olduğu için)- bir evrendir. Bu yüzden, bu yaklaşımda, hiçbir mantıksal çelişkiyle karşılaşmayız, çünkü verilen her anın, her biri farklı paralel evrenlerde bulunan çeşitli versiyonları vardır; Birçok Dünya yorumunda sanki bir değil de sonsuz sayıda çok uzay- zaman somunları varmış gibidir. Sizin bulunduğunuz evrende anne ve babanız 31 Aralık 1965 gecesi karşılaştılar, siz doğdunuz, büyüdünüz, babanıza kin güttünüz, zamanda yolculuktan etkilendiniz ve 31 Aralık 1965'e doğru zamanda yolculuğa çıktınız. Ulaştığınız evrende babanız, gelecekte onun oğlu olduğunu iddia eden silahlı biri tarafından, annenizle karşılaşmadan önce, 31 Aralık 1965 gecesi öldürüldü. Sizin bu evrendeki versiyonunuz hiçbir zaman doğmadı, ama bu normaldir çünkü tetiği çeken kişinin (sizin) anne-babanız vardır. Onlar farklı, paralel bir evrende yaşamaktadırlar. Bu evrende herhangi birisinin sizin öykünüze inanıp inanmadığını veya size hayal olarak bakıp bakmadığını söyleyemem. Ama hal böyle olunca, her evrende -terk ettiğiniz ve ulaştığınız- kendisiyle çelişkili durumlardan kaçınabildiğimiz açıktır.

Dahası, bu genişletilmiş bağlamda bile zamanda yolculuk maceranız geçmişi değiştirmedi. Terk ettiğiniz evrende, o evrenin geçmişine gitmediğinizden, bu ortadadır. Ulaştığınız evrende 31 Aralık 1965 gecesi

saat 11:50'deki varlığınız o anı değiştirmez: O evrende o anda vardınız ve daima var olacaksınız. Yine, Birçok Dünya yorumunda fiziksel olarak tutarlı olan her olaylar dizisi paralel evrenlerin birinde yer alır. Ulaştığınız evren, niyetlendiğiniz ölümcül eyleminizin gerçekleştiği bir evrendir. 31 Aralık 1965'teki varlığınız ve işlediğiniz suç, o evrenin değiştirilemez gerçeklik dokusunun bir parçasıdır.

Birçok Dünya yorumu, annemin sicim kuramında çığır açan makaleyi yazmasında olduğu gibi, bilginin görünüşe göre havadan ortaya çıkması konusuna da benzer bir çözüm öneriyor. Birçok Dünya yorumuna göre, sonsuz sayıdaki paralel evrenlerden birinde annem hızla bir sicim kuramı uzmanına dönüşür ve makalesinde okuduğum her şeyi kendi bulur. Geçmişe yolculuk yapmak için yola çıktığımda, zaman makinesi beni o evrene götürür. Oradayken annemin makalesinde okuduğum sonuçlar gerçekten de annemin o evrendeki versiyonu tarafından keşfe-dilmiştir. Daha sonra, zamanda geriye doğru yolculuk yaptığımda, paralel evrenlerden annemin fiziği anlamakta güçlük çektiği bir başkasına girerim. Yıllarca ona fizik öğretmeye çalıştıktan sonra, vazgeçer ve ona makalede ne yazması gerektiğini anlatırım. Ama bu senaryoda, atılımlardan kimin sorumlu olduğu konusunda bir bilmece yoktur. Atılımların sorumlusu, bir fizik uzmanı olduğu evrendeki annemin versiyonudur. Benim zamandaki çeşitli yolculuklarım sonucunda olup bitenler, annemin buluşlarının paralel bir başka evrende yaşamakta olan versiyonuna iletilmesidir. Paralel evrenleri kabul etmeyi, yazarsız makalelerden daha kolay bulduğunuzu varsayarsak -tartışılabilir bir önerme- bilgi ve zamanda yolculuk arasındaki ilişkiler, zihnimizi daha az bulandıracak bir şekilde açıklanabilir.

Bu ve bir önceki alt-bölümde tartıştığımız önerilerin hiçbiri, zamanda yolculuğun bilmecelerinin ve çelişkilerinin çözümü olmayabilir. Bu öneriler, daha çok, şu anki kavrayışımızla fizik problemleri çözmek için çeşitli olası yollar sağladığından, bilmecelerin ve çelişkilerin zamanda yolculuğu bertaraf etmeyeceğini göstermek amacını taşırlar. Ama bir şeyi bertaraf etmek, onun olası olduğunu söylemekten çok uzaktır. O zaman, şimdi asıl soruyu soralım:

Geçmiş Zamana Yolculuk Olası mı?

Aklı başında bir fizikçi bu soruya hayır cevabını verir. Ben, hayır derim. Ama özel göreliliğin büyük kütleli bir cismin ışık hızına kadar ivmelendirilmesine ve cismin hızının ışık hızını geçmesine izin verip vermediğini; veya Maxwell kuramının bir birim elektrik yüküne sahip olan bir parçacığın, iki birim elektrik yüküne sahip olan parçacıklara bozunmasına izin verip vermediğini sorduğunuzda alacağınız kesin "hayır" olmayıp, koşula bağlı bir “hayır”dır. Gerçek şu ki, hiç kimse fizik yasalarının geçmiş zamana yönelik yolculuğu kesinlikle yasakladığını gösteremedi. Tersine, bazı fizikçiler sınırsız teknolojik başarılara sahip olan bir uygarlığın tümüyle bilinen fizik yasaları içinde bir zaman makinesi (zaman makinelerinden söz ettiğimizde her zaman, hem geleceğe hem de geçmişe yolculuk yapabileceğimiz bir makineyi kastediyoruz) yapmaya yönelik varsayımsal yönergeler bile hazırlamışlardır. Önerilerin H. G. Wells tarafından tanımlanan uçan zımbırtıyla veya Doc Brown'ın sıvılaşan aracıyla pek benzerliği yoktur. Tasarım öğeleri tümüyle bilinen fiziğin sınırları içindedir, bu da birçok araştırmacının, doğa yasalarını kavrayışımızda önümüzdeki dönemde ortaya çıkacak gelişmelerle birlikte, zaman makineleri konusunda var olan ve gelecekte ortaya atılacak projelerin, fiziksel olarak olası olmadıklarından kuşkulanmalarına yol açıyor. Ama bugün için bu kuşku sağlam ve güvenilir ispata değil, cesur duygulara ve koşullu kanıtlara dayanıyor.

Einstein'ın kendisi de genel görelilik kuramının yayımlanmasına yol açan yoğun araştırma yıllarında geçmişe yolculuk konusunda uzun uzun düşünmüştür. Doğrusunu söylemek gerekirse bunu düşünmemiş olması garip olurdu. Uzay ve zaman konusundaki köktenci çalışmaları uzun süredir kabul edilen dogmaların çöpe atılmasına neden olurken, çok eskiden beri varlığını sürdüren soru, bu alt-üst oluşun nereye kadar gideceği idi. Bilinen, gündelik, sezgisel zamanın hangi özellikleri varlıklarını sürdürebilecekti? Einstein zamanda yolculuk konusunda pek bir şey yazmamıştı çünkü kendi standartlarına göre bu konuda fazla ilerleme elde edememişti. Ama genel görelilik üzerine yazdığı makaleyi izleyen on yıllarda başka fizikçiler yavaş ama güvenli bir şeklide bu konuda makaleler yazdılar.

Zaman makineleriyle ilgili olarak yazılan genel görelilik makalelerinin öncüleri arasında 1937'de İskoç fizikçi W. J. Van Stockum" ve 1949'da Einstein'ın İleri Araştırmalar Enstitüsü'nden çalışma arkadaşı olan Kurt Gödel'in yazdıkları vardır. Van Stockum, genel görelilikte, çok yoğun ve sonsuz uzunlukta bir silindirin (sonsuz) uzun ekseni etrafında dönme

hareketi yaptığı varsayımsal bir problemi inceledi. Her ne kadar sonsuz uzunluktaki silindir fiziksel olarak gerçekçi değilse de, Stockum'un çözümlemeleri ilginç bir sonuç ortaya koydu. Bölüm 14'te görmüş olduğumuz gibi, dönmekte olan büyük kütleli cisimler uzayı da anafor benzeri bir hareketle sürüklerler. Dönme hareketi zamanın yönünün yana dönmesine neden olur, böylece silindir etrafındaki dönme hareketi sizi geçmişe götürür. Eğer roketiniz silindir etrafında dönüyorsa, başladığınız noktaya, yolculuğa çıkmadan önce ulaşırsınız. Elbette hiç kimse sonsuz uzunlukta, dönen bir silindir yapamaz ama bu çalışma, genel göreliliğin geçmiş zamana yolculuğu yasaklamayabileceğim gösteren ilk ipuçlarındandır.

Gödel'in makalesi aynı zamanda dönme hareketini kapsayan durumu da inceliyordu. Ama uzayda dönen bir cisme odaklanmak yerine Gödel, uzayın tamamının dönme hareketi yaptığında ne olduğunu araştırıyordu. Mach bunu anlamsız bulurdu. Eğer evrenin tümü dönüyorsa, o zaman bu dönmenin, ona göre ölçüldüğü hiçbir şey yoktur. Mach, dönen bir evrenin duran bir evrenle aynı olduğu sonucuna varırdı. Ama bu, genel göreliliğin Mach'ın göreci uzay kavramı ile tam olarak uyuşmada başarısız olduğu bir başka durumdur. Genel göreliliğe göre bütün uzayın dönmesinden söz etmek anlamlı değildir ve bu olasılıkla basit gözlemsel sonuçlar ortaya çıkar. Örneğin, dönmekte olan bir evrende bir lazer demeti gönderseniz, genel görelilik ışığın doğrusal bir çizgi üzerinde değil, sarmal bir yol izleyerek yayılıyormuş gibi görüneceğini söyler (bir atlıkarıncada iken yukarıya doğru bir oyuncak silah ateşlerseniz, yavaş-çekimde hareket eden merminin izleyeceği yol). Gödel'in çözümlemesinin şaşırtıcı özelliği, uzay geminizin dönmekte olan bir evrende uygun yörüngeler izlemesi durumunda, başlangıç noktanıza hareket zamanınızdan önce varabileceğinizi kavramış olmasıdır. Bu yüzden, dönen evrenin kendisi bir zaman makinesidir.

Einstein Gödel'i buluşu nedeniyle kutladı ama ilerideki araştırmaların, genel görelilik denklemlerinin geçmiş zamana yolculuğa izin veren çözümlerinin temel fizik gereklerine ters düşerek bunların yalnızca matematiksel ilginçlikler olarak kalmalarına neden olabileceğini söyledi. Gödel'in çözümü açısından, giderek daha hassas gözlemler evrenimizin dönmediğini ortaya koyarak bu çözümün doğrudan ilişkisini azalttı. Ama van Stockum ve Gödel cini bir kere lambadan çıkarmışlardı; on beş-yirmi

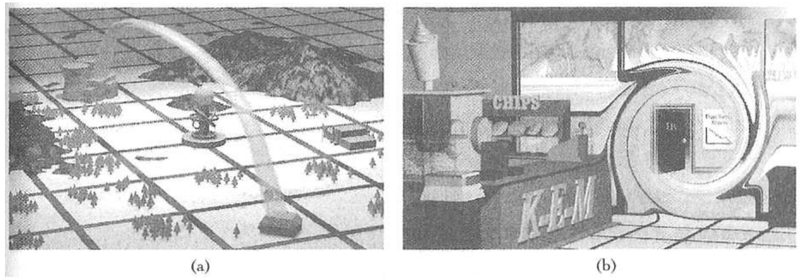
yıl içinde Einstein'ın denklemlerinin geçmiş zamana yolculuğa izin veren başka çözümleri de bulundu.

Son yıllarda varsayıma dayanan zaman makinesi tasarımlarına ilgi arttı. 1970'lerde Frank Tipler, van Stockum'un çözümünü yeniden inceledi ve 1991 de Princeton Üniversitesi’nden Richard Gott, kozmik sicimler (evrenin ilk dönemlerindeki faz geçişlerinin varsayıma dayalı, sonsuz uzunluktaki, ipliksi kalıntıları) adı verilen yapıları kullanarak zaman makinesi yapmanın bir başka yolunu keşfetti. Bunların tümü önemli katkılardır ama geçmiş bölümlerde geliştirdiğimiz kavramları kullanarak tarif etmenin en basit olduğu öneri Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü’nde Kip Thorne ve öğrencileri tarafından bulunmuştur. Bu öneride solucan delikleri kullanılmıştır.

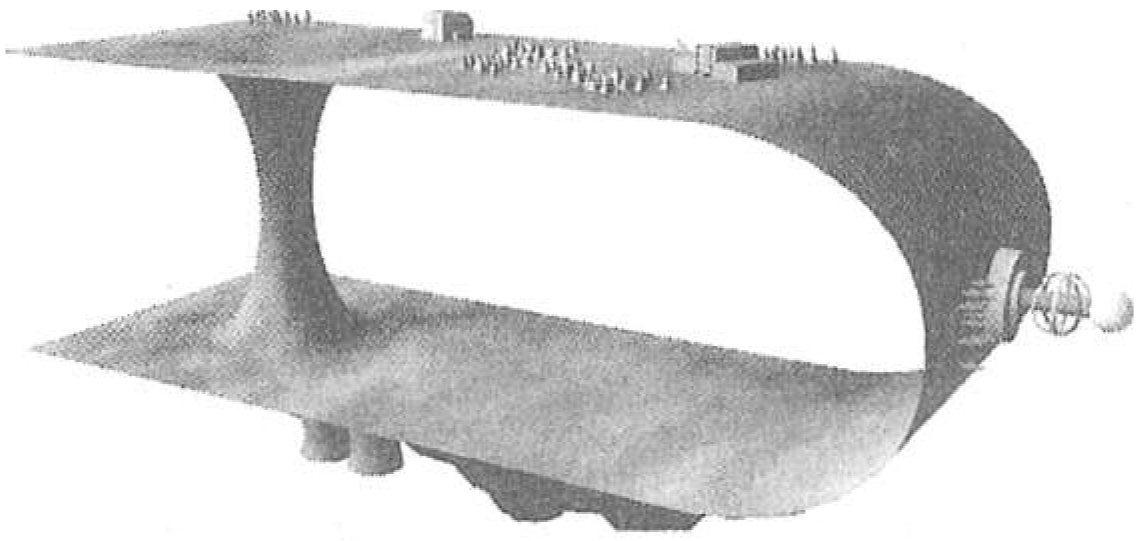
Bir Solucan Deliği Zaman Makinesinin Ayrıntılı Planları

Önce Thorne'un solucan deliği zaman makinesini yapmak için kullandığı temel stratejiyi açıklayacak ve gelecek alt-bölümde de Thorne'un planlarını gerçekleştirmek üzere kiralayacağı müteahhidin karşılaşacağı zorlukları anlatacağım.

Bir solucan deliği uzayda varsayıma dayalı bir tüneldir. Bir dağın bir yanından açılan, daha bilindik bir tünel, bir yerden diğerine kestirme bir yol sağlar. Solucan delikleri de benzer bir işlev görürler ama bildiğimiz tünellerden önemli bir bakımdan ayrılırlar. Bildiğimiz tüneller var olan uzayda yeni bir rota sağlarken -dağ ve işgal ettiği uzay, tünel yapılmadan önce de vardır- solucan deliği uzaydaki bir noktadan başka bir noktaya yeni, önceden orada olmayan bir uzay tüpü aracılığıyla tünel oluşturur. Dağdaki tüneli oradan çıkarsanız, kapladığı uzay hâlâ oradadır. Solucan deliğini çıkarırsanız, kapladığı uzay ortadan yok olur.



Şekil 15.2 (a) Kwik-E-Mart'tan nükleer santrale uzanan solucan deliği (b) Kwik- E-Mart tarafındaki girişten nükleer santraldeki girişe doğru bakıldığında solucan deliğinden görülen manzara



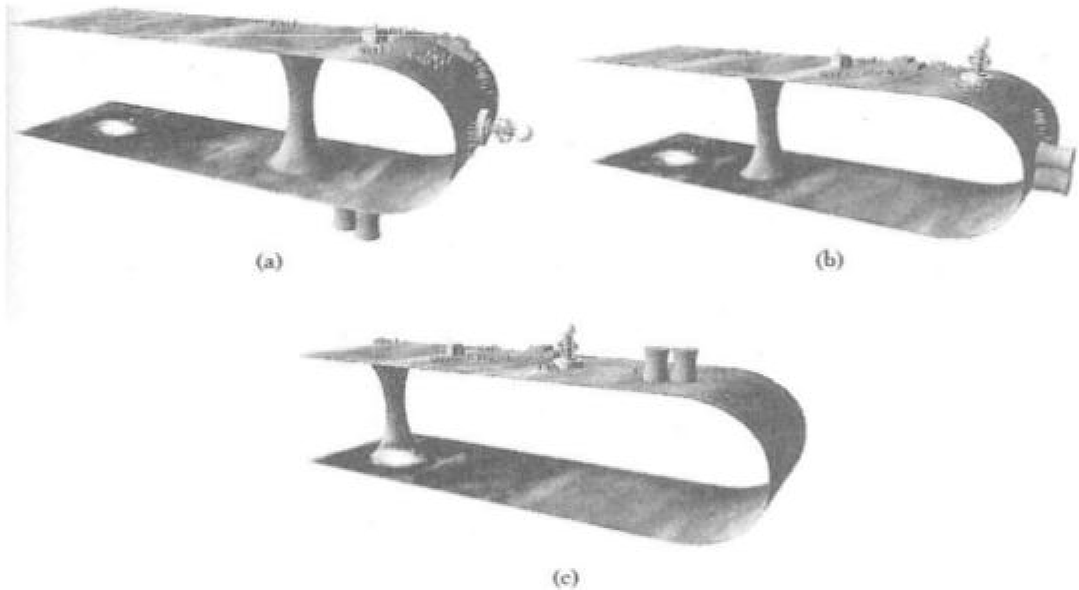
Şekil 15.3 Solucan deliğinin kestirme olduğunu daha açık bir biçimde gösteren geometri (Solucan deliği girişleri gerçekte IKwik-E-Mart'ın ve nükleer santralin içindedir ama bunu şekilde göstermek zordur.)

Şekil 15.2a IKwik-E-Mart'i Springfield Nükleer Santraline bağlayan solucan deliğini gösteriyor ama solucan deliği Springfield göklerinden geçiyor gibi göründüğü için şekil yanıltıcıdır. Doğrusu, solucan deliği uçlarından yani girişlerinden bildiğimiz uzaya bağlanan, yeni bir uzay bölgesi olarak düşünülmelidir. Eğer Springfield sokaklarında yürürken solucan deliği aramak için gökyüzüne bakarsanız, hiçbir şey görmezsiniz. Onu görmenin tek yolu normal uzayda bir açıklık, solucan deliği girişi göreceğiniz Kwik-E-Mart'a sıçramaktır. Açıklıktan baktığınızda Şekil 15.2b'deki gibi ikinci girişin yerini, nükleer santralin içini görürsünüz. Şekil

15.2a’daki çizimin bir başka yanıltıcı yanı, solucan deliğinin kestirme gibi görünmüyor olmasıdır. Bunu, çizimi Şekil 15.3'teki gibi yaparak düzeltebiliriz. Görebileceğiniz gibi, nükleer santralden Kwik-E-Mart'a giden normal yol gerçekten de solucan deliğinin yeni uzaysal geçişinden uzundur. Şekil 15.3'teki bükülmeler, genel görelilik geometrisini düz bir sayfa üzerine çizmenin güçlüklerini gösteriyor ama şekil, solucan deliğinin sağlayacağı yeni bağlantı konusunda sezgisel bir duygu veriyor.

Hiç kimse solucan deliklerinin var olup olmadığını bilmiyor ama onlarca yıl önce fizikçiler genel göreliliğin matematiğinin solucan deliklerine izin verdiğini, o nedenle de kuramsal çalışmalar yapılmasının doğru olduğunu belirlediler. 1950'lerde John Wheeler ve çalışma arkadaşları solucan delikleri konusunu en önce inceleyen araştırmacılar arasındaydılar ve solucan deliklerinin temel matematiksel özelliklerinden pek çoğunu keşfettiler. Son zamanlarda ise Thorne ve çalışma arkadaşları yalnızca uzayda değil, zamanda da kestirme yollar oluşturduklarını fark ederek, solucan deliklerinin tüm zenginliğini gözler önüne serdi.

Fikir şudur: Bart ve Lisa'nın, Springfield deki solucan deliğinin iki ucunda durduklarını -Bart nükleer santralde, Lisa Kwik- E-Mart'ta- ve Homer'e doğum gününde ne alacaklarını konuştuklarını varsayalım. Bart galaksilerarası kısa bir yolculuk yaparak Homer'e çok sevdiği Andromeda balık kroketlerinden almayı düşünürse de Lisa kendini böyle bir yolculuğa hazır hissetmez. Ama her zaman Andromeda'yı görmek istediği için Bart in solucan deliğinin onun tarafındaki ucunu uzay gemisine alarak yolculuğa öyle çıkmasını ister, böylece Andromeda'yı görebilecektir. Bunun, Bart'ın yolculuğu süresince solucan deliğini esneterek uzatması gerektiği anlamına geldiğini düşünebilirsiniz ama bu durumda Kwik-E-Mart'ı Bart'ın uzay gemisine bağlayan solucan deliğinin bildiğimiz uzayda olduğu varsayılmaktadır. Oysa öyle değildir. Şekil 15.4'te gösterildiği gibi, genel göreliliğin geometrisinin mucizeleri aracılığıyla, solucan deliğinin uzunluğu yolculuk süresince sabit kalır. Kilit nokta budur. Bart roketle Andromeda'ya gitse bile, solucan deliği aracılığıyla Lisa'ya olan uzaklığı değişmez. Bu da, solucan deliğinin rolünün uzayda kestirme yol sağlamak olduğunu apaçık gösterir.



Şekil 15.4 (a) Kwik-E-Mart'ı nükleer santrale bağlayan bir solucan deliği (b) Solucan deliğinin alttaki ucu (nükleer santralden) uzaya (şekilde gösterilmeyen uzay gemisine) taşınır. Solucan deliğinin uzunluğu sabit kalır, (c) Solucan deliğinin ucu Andromeda galaksisine ulaşır; diğer uç bâlâ Kwik-E-Mart'ladır. Solucan deliğinin uzunluğu tüm yolculuk boyunca değişmez.

Kesin biçimde konuşmak için, Bart'ın ışık hızının yüzde 99,9999999999999999'i kadar bir hızla Andromedaya doğru dört saat yol aldığını varsayalım, bu süre içinde de, Lisa ile tıpkı uçuş öncesinde yaptıkları gibi solucan deliğinden sürekli olarak konuşuyor olsunlar. Uzay gemisi Andromedaya ulaştığında, Lisa rahatsız edilmeden manzarayı izlemek için Bart'a sesini kesmesini söyler. Bart'ın, Rokete Servis Balık Kroketçisi'nden paketi kaptığı gibi dönüş yoluna düşmesine çok sinirlenen Lisa, yine de dönüş yolu boyunca onunla konuşmaya razı olur. Dört saat kadar sonra Bart gemisini güvenli bir şekilde Springfield'deki çim alana indirir.

Ama uzay gemisinin penceresinden baktığında Bart şok geçirir. Binalar tamamıyla farklı görünmekte ve stadyumun üzerindeki tarih tabelası, gidişinden 6 milyon yıl sonraki bir tarihi göstermektedir. "Olamaz!?!" der kendi kendine, ama bir an sonra her şeyi anlar. Özel göreliliğin, ne kadar hızlı giderseniz, saatinizin o kadar yavaşlayacağını söylediğini hatırlar. Eğer uzaya doğru çok yüksek bir hızla gider ve geri dönerseniz, uzay geminizde yalnızca birkaç saat geçmiş olabilir ama hareketsiz duran birine göre

binlerce, belki de milyonlarca yıl geçmiş olacaktır. Hızlı bir hesaplamayla Bart, yolculuk yaptığı hızla gemide sekiz saat geçtiğini, bununsa Dünya'da 6 milyon yıl geçmiş olduğu anlamına geldiğini bulur. Skor tabelasındaki tarih doğrudur; Bart Dünya'nın geleceğine doğru yolculuk yapmıştır.

Lisa, solucan deliğine "Bart! Hey, Bart!" diye bağırır. "Beni duyuyor musun?" Acele et. Akşam yemeğine zamanında yetişmek istiyorum" Bart solucan deliğine bakar ve Lisa ya biraz önce Springfield'e indiğini söyler. Solucan deliğine daha dikkatli bakan Lisa, Bart'ın doğru söylediğini görür ama Kwik-E-Mart'tan Springfield'e doğru baktığında, çim alanda Bart'ın uzay gemisini göremez. "Anlamıyorum" der.

"Aslında çok anlamlı "diye cevaplar Bart gururla. "Springfield'e indim, ama 6 milyon yıl sonrasına. Kwik-E-Mart'ın penceresinden bakarak beni göremezsin. Doğru yere ama yanlış zamana bakıyorsun. 6 milyon yıl önceye bakıyorsun."

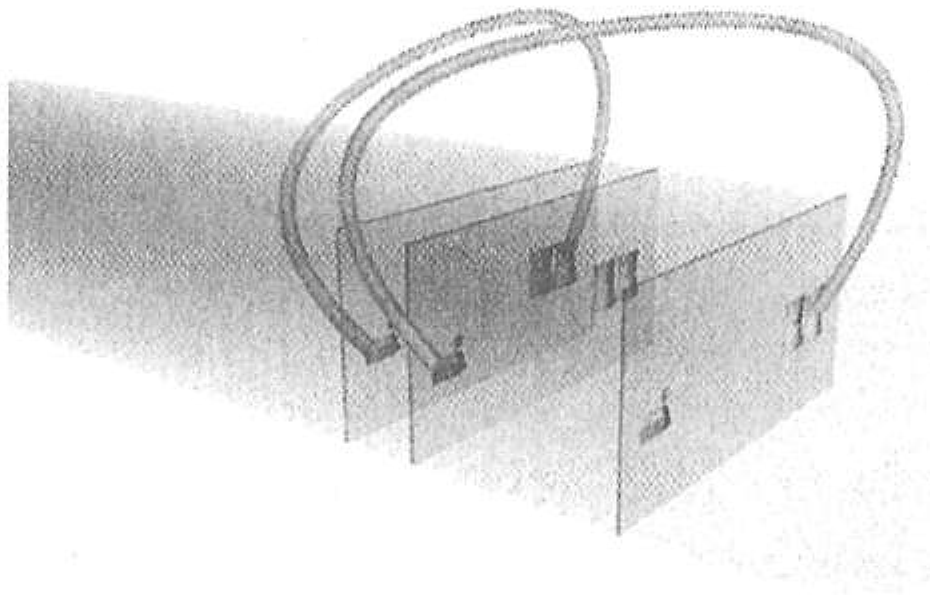
"Evet, tamam, genel görelilikteki zamanın kısalması 'der Lisa. "Çok iyi, her neyse, akşam yemeği için eve zamanında yetişmek istiyorum, onun için Solucan deliğinden geç. Acele etmemiz gerekiyor." "Tamam" der Bart ve solucan deliğinde sürünmeye başlar. Lisa ile birlikte eve doğru yola koyulurlar.

Dikkat ederseniz her ne kadar Bart'ın solucan deliğinde sürünmesi onun yalnızca bir saniyesini almış olsa da, onu zamanda 6 milyon yıl geriye götürmüştür. Bart, gemisi ve solucan deliği Dünya'nın uzak geleceğine inmişlerdir. Eğer dışarı çıkmış, insanlarla konuşmuş ve gazetelere göz atmış olsaydı, her şey bu durumu doğrulayacaktı. Ama solucan deliğinden geçip Lisa'yla buluştuğunda kendini yine bugünde buldu. Aynı şey, Bart'ı solucan deliği ağzında izlemekte olan birisi için de geçerlidir: O da zamanda 6 milyon yıl geriye gidecektir. Benzer şekilde, solucan deliğinin Kwik-E-Mart'taki ucuna giren ve diğer uçta Bart'ın gemisindeki uçtan çıkan birisi, zamanda 6 milyon yıl ileriye gider. Önemli nokta, Bart'ın uzaydaki yolculuğuna Solucan deliği çıkışlarından yalnızca birini götürmüş olması değildir. Yolculuk solucan deliği çıkışını zaman içinde de taşımıştır. Bart'ın yolculuğu hem onu, hem de solucan deliğinin çıkışını geleceğe götürmüştür. Kısacası Bart, uzaydaki bir tüneli zamandaki bir tünele dönüştürmüştür; bir solucan deliğini bir zaman makinesi haline getirmiştir.

Ne olup bittiği, kabaca Şekil 15.5'teki gibi gösterilebilir. Şekil 15.5a'da uzaydaki bir konumu diğerine bağlayan bir solucan deliği görüyoruz. Solucan deliği, bildiğimiz uzayın dışında olduğu vurgulanacak şekilde çizilmiş. Şekil 15.5b'de bu solucan deliğinin her iki çıkışı da sabit olacak şekilde (zaman dilimleri durağan bir gözlemcinin dilimleridir) zamanda evrimini görüyoruz. Şekil 15.5c'de solucan deliğinin çıkışlarından biri bir uzay gemisine konarak, başladığı noktaya dönen bir uzay yolculuğuna çıkarıldığında ne olduğu görülüyor. Hareket eden çıkış için zaman, tıpkı hareket eden bir saatin zamanı gibi, yavaşlıyor ve böylece solucan deliğinin hareket eden çıkışı geleceğe doğru bir yolculuk yapıyor. (Eğer hareket eden saat için yalnızca bir saat geçerken durağan saatler için binlerce yıl geçerse, hareket eden saat sabit saatlerin geleceğine gitmiş olur.) Böylece, sabit solucan deliğinin çıkışı, solucan deliği tüneliyle aynı zaman dilimindeki bir çıkışa değil de, Şekil 15.5c'deki gibi gelecekteki bir zaman dilimindeki bir çıkışa bağlanır. Solucan deliği çıkışları daha fazla hareket ettirilmedikçe, aralarındaki zaman farkı sabit kalacaktır. Herhangi bir anda bu çıkışların birinden girer, diğerinden çıkarsanız, zamanda yolculuk yapmış olursunuz.

Solucan Deliğinden bir Zaman Makinesi Yapmak

Artık zaman makinesi yapma yolunda bir planımız var. 1. Adım: Kendinizin ya da zaman içinde yolculuk yapmasını istediğiniz şeyin geçebileceği genişlikte bir solucan deliği bulun veya yaratın. 2. Adım: Birini diğerine göre hareket ettirerek solucan deliğinin çıkışları arasında bir zaman farkı yaratın. Bu kadar. Tabii yalnızca ilke olarak.



(c)

Şekil 15.5 (a) Herhangi bir anda yaratılan bir solucan deliği, uzaydaki bir konumu diğerine bağlar, (b) Eğer solucan deliğinin çıkışları birbirine göre hareket etmezse, zamanın içinden aynı hızla "geçerler", böylece tünel iki bölgeyi birbirine aynı zamanda bağlar, (c) Eğer solucan deliği çıkışlarından biri, başladığı yerde biten bir yolculuğa çıkarılırsa (gösterilmemiştir), o çıkış için daha az zaman geçecektir ve böylece tünel uzayın iki bölgesini birbirine farklı zamanlarda bağlayacaktır. Solucan deliği, bir zaman makinesi haline gelmiştir.

Ya pratiğe gelince? Başta da söylediğim gibi, hiç kimse solucan deliklerinin var olup olmadığını bile bilmiyor. Bazı fizikçiler uzaysal dokunun yapısında birçok mikroskobik solucan deliği olabileceğini, solucan deliklerinin kütleçekimi alanının kuantum dalgalanmaları nedeniyle sürekli olarak ortaya çıkıyor olabileceğini ileri sürdüler. Eğer öyle ise yapmamız gereken, bunlardan birini makroskobik boyutlara kadar büyütmektir. Bunun nasıl yapılabileceği konusunda önerilerde bulunulmuştur ama bunlar hayali uçuşların bile ötesindedir. Başka bazı fizikçilerse büyük solucan delikleri yaratılması işine uygulamalı genel görelilikteki bir mühendislik projesi olarak bakmaktadır. Uzayın madde ve enerjinin dağılımına tepki verdiğini biliyoruz, o zaman madde ve enerji üzerinde yeterli kontrolü sağlayarak uzayın bir bölgesinin bir solucan deliğine dönüşmesini sağlayabiliriz. Bu yaklaşım, ek bir karmaşıklık getirir çünkü nasıl bir tünel girişi yapmak için dağın bir yüzünü delerek açmak zorundaysak, bir solucan deliği girişi oluşturmak için de uzayın dokusunu bir yerde delerek açmak zorundayız.

Bu delip açmalara fizikte izin verilip verilmediğini henüz hiç kimse bilmiyor. Sicim kuramında, içinde benim de yer aldığım çalışma, uzaysal delme ve açmaların bazı türlerinin olası olduğunu göstermişti ama bu açmaların solucan deliği yaratmakla bir ilgisi olup olmadığı konusunda hiçbir fikrimiz yok. Şimdilik makroskobik solucan delikleri elde etme niyeti, en iyi olasılıkla bile gerçekleştirilmekten çok uzak bir hayaldir.

Üstelik makroskobik bir solucan deliği yapabilmiş olsak bile, işimiz bitmiş sayılmaz; aşmamız gereken birkaç önemli engel daha var. Bunlardan ilki, daha 1960'larda Wheeler ve Robert Fuller in genel görelilik denklemlerini kullanarak solucan deliklerinin kararsız olduklarını göstermiş olmalarıdır. Çeperleri saniyenin bir kesri kadar kısa bir sürede içeriye doğru çökme eğilimindedir ki bu, solucan deliklerinin herhangi bir yolculuk için kullanılmaları olasılığını yok eder. Ama daha yakın zamanlarda (aralarında Thorne, Morris ve Matt Visser'in de bulunduğu) fizikçiler bu çökme problemini bertaraf etmenin bir yolunu buldular. Eğer solucan deliği boş değilse, madde içeriyorsa -egzotik madde denen şey- bu madde dışarıya doğru bir basınç uygulayarak solucan deliğinin açık kalmasını ve kararlı olmasını sağlayabilir. Her ne kadar etki olarak kozmoloji sabitine benziyorsa da, egzotik madde negatif enerjiye sahip olduğu için (kozmoloji sabitinin yalnızca negatif basınç karakterini yansıtmakla kalmaz) dışarıya doğru itme sağlayan itici kütleçekimi yaratır. Çok özel koşullar altında kuantum mekaniği negatif enerjiye izin verir ama egzotik maddeyi kullanarak bir solucan deliğini açık tutma işi çok çok zordur. (Örneğin Visser, bir metre çapındaki bir solucan deliğini açık tutmak için gerekli olan negatif enerjinin, yaklaşık olarak Güneş 'in on milyar yılda ürettiği toplam enerjiye eşit olduğunu hesaplamıştı.)

İkincisi, eğer bir şekilde makroskobik bir solucan deliği bulmuş ya da yaratabilmiş olsak ve gene bir şekilde duvarlarını ani bir çökmeye karşı içeriden destekleyebilmiş olsak ve solucan deliğinin iki girişi arasında bir zaman farkı yaratabilmiş olsak bile (diyelim, girişlerden birinin yüksek bir hızla hareket etmesini sağlayarak), solucan deliğini zaman makinesine dönüştürmenin önünde hâlâ bir engel vardır. Aralarında Stephen Hawking'in de bulunduğu bir grup fizikçi, boşluk dalgalanmalarının -Bölüm 12'de işlenen ve bütün alanların hatta boş uzayın bile kuantum belirsizliğinden kaynaklanan titreşimleri- solucan deliğini tam zaman makinesine dönüşeceği anda yok edebileceği olasılığına dikkat çektiler. Bunun nedeni, solucan deliğinde zamanda yolculuğun tam olası olacağı

anda, tıpkı iyi ayarlanmamış bir ses sisteminde mikrofon ve hoparlörlerin yeri nedeniyle oluşan tiz ve yüksek sesin ortaya çıkmasına neden olan devasa bir geri- beslemenin ortaya çıkma olasılığıdır. Gelecekteki boşluk dalgalanmaları solucan deliğinden geçmişe gidebilir, orada bildiğimiz uzayda ve zamanda geleceğe doğru yolculuk yapabilir, solucan deliğine yeniden girerek yeniden geçmişe gidebilir, böylece solucan deliğinden sonsuz bir çevrime girerek onu giderek artan bir enerjiyle doldurabilir. Böylesine yoğun bir enerji birikmesinin solucan deliğini tahrip edeceği düşünülüyor. Kuramsal araştırmalar bunu gerçek bir olasılık olarak sunuyorlar ama gereken hesaplar eğri uzay-zamanda modern genel görelilik ve kuantum mekaniği anlayışımızı zora soktukları için sonuç alıcı bir kanıt henüz yok.

Solucan deliğinden bir zaman makinesi yapmanın zorluklarının çok büyük olduğu açıktır. Ama kuantum mekaniği ve kütleçekimindeki ustalığımız, belki de süpersicim kuramındaki ilerlemelerle artıncaya kadar, son söz henüz söylenmemiş olacaktır. Her ne kadar sezgisel düzeyde fizikçiler geçmiş zamana yolculuğun olanaksız olduğunu söylüyor olsalar da, bugün için bu soru henüz net bir biçimde cevaplanmamıştır.

Kozmik Turizm

Zamanda yolculuk konusunda düşünürken, Hawking ilginç bir noktaya değindi. Neden, diye soruyordu, eğer zamanda yolculuk olası ise, acaba Dünya'mızı gelecekten gelen ziyaretçiler neden istila etmiyor? Belki de ediyorlardır, diyebilirsiniz. Daha da ileri giderek, o kadar çok zaman yolcusunu hapse attık ki, artık diğerleri kendilerini tanıtmaya cesaret edemiyorlar, cevabını verebilirsiniz. Elbette Hawking bu soruyu yarı şaka yarı ciddi soruyordu, ben de öyle, ama ortaya attığı konu ciddiydi. Eğer gelecekten gelen ziyaretçilerimiz olmadığına inanıyorsanız ki ben öyle olduğuna inanıyorum, acaba bu, zamanda yolculuğun olanaksız olduğuyla eş anlama mı geliyor? Elbette eğer insanlar gelecekte zaman makinesi yapmayı başarabilirlerse, bazı tarihçiler burs alıp geçmişe giderek ilk atom bombasının yapılışını, Ay 'a yapılan ilk yolculuğu ya da ilk baskının bir "reality show' a dönüşmesini özgün zamanında ve kişisel olarak inceleme fırsatı bulacaklardır. O yüzden eğer zamanımızı gelecekten hiç kimsenin ziyaret etmediğine inanıyorsak, belki de o zaman farkında olmadan bir zaman makinesinin hiçbir zaman yapılamayacağına inanıyoruz demektir.

Aslında bu zorunlu bir sonuç da değildir. Şimdiye kadar önerilen zaman makineleri, ilk makinenin yapıldığı zamandan daha önceki br zamana yolculuk yapılmasına izin vermez. Şekil 15.5'i inceleyerek solucan deliği zaman makinesi için bunu anlamak kolaydır. Her ne kadar solucan deliği girişleri arasında zaman farkı varsa ve her ne kadar bu fark zamanda ileri ve geri yönde yolculuğa izin veriyorsa da, bu zaman farkının yaratıldığı zamanın öncesine ulaşamazsınız. Uzay-zaman somununun en solunda solucan deliğinin kendisi de yoktur, o yüzden oraya ulaşmak için solucan deliğini kullanmanın hiçbir yolu yoktur. Bu nedenle eğer ilk zaman makinesi diyelim günümüzden 10.000 yıl sonra yapılırsa, o an hiç kuşkusuz çok turist çekecektir ama bizim zamanımız gibi bütün önceki zamanlar ulaşılmaz olarak kalacaktır.

Doğa yasalarını şimdiki kavrayışımızın, yalnızca zamanda yolculuğun görünüşteki çelişkilerinden nasıl kaçınabileceğimizi göstermekle kalmayıp, zamanda yolculuğun gerçekten de nasıl yapılabileceği konusunda öneriler ileri sürmesini meraklı ve inandırıcı buluyorum. Beni yanlış anlamayın: Kendimi sezgisel olarak günün birinde geçmişe yolculuğun yapılamayacağının kanıtlanacağına inanan aklı başında fizikçiler arasında sayıyorum. Ama kesin kanıtlama yapılıncaya kadar her şeye açık bir zihne sahip olmanın doğru ve uygun olacağını düşünüyorum. En azından, bu konulara odaklanan araştırmacılar, uç koşullardaki uzay ve zaman kavrayışımızı önemli ölçüde derinleştiriyorlar. En iyi olasılıkla bu araştırmacılar bizi uzay-zamanın süper otoyoluyla bütünleştirme konusunda ilk kritik adımları atıyor olabilirler. Sonuçta, bir zaman makinesi yapmayı başaramadan geçen her an, sonsuza kadar bizim ve bizden sonra gelen herkesin erişiminin ötesinde olacaktır.

XVI. Bölüm - Bir Anıştırmanın Geleceği

Uzay ve Zaman Hakkında Görüşler

Fizikçiler yaşamlarının büyük bölümünü bir kafa karışıklığı içinde geçirirler. Bu, mesleki bir durumdur. Fizikte yetkinleşmek, gerçeğe giden dönemeçli yolda kuşkuyla sarmaş dolaş olarak yaşamak demektir. Bulanık zihnin kıvrandırıcı rahatsızlığı, normalde sıradan olan insanlara olağandışı zekâ ve yaratıcılık kazandırır; hiçbir şey insan aklını bir noktaya, uyumlu çözümü bekleyen uyumsuz ayrıntılar kadar odaklayamaz. Ama aydınlanmaya giden yolda -önemli problemleri çözmek için yeni yapıları araştırırken- kuramcılar, bu zihin bulanıklığı ormanında çoğu zaman sezgilerin, işaretlerin, ipuçlarının ve hesaplamaların kılavuzluğunda kararlı ve sağlam adımlarla yürümelidir. Araştırmacıların çoğunluğu izlerini örtme eğiliminde olduğu için, keşifler yürünen sarp ve yalçın arazi konusunda çok az bilgi verirler. Ama hiçbir şeyin kolay elde edilmediği gerçeğini hiç unutmayın. Doğa, gizlerinden kolayca vazgeçmez.

Bu kitapta çeşitli bölümlerde insanın uzay ve zamanı anlama çabalarının öyküsüne göz attık. Her ne kadar bazı derin ve şaşırtıcı fikirlerle karşılaştıysak da, bütün zihin bulanıklığının ortadan kalktığı ve her şeyin tam bir açıklığa kavuştuğu o son "eureka" anına henüz ulaşamadık. Şu anda henüz balta girmemiş ormanlarda mücadele ediyoruz. O halde bundan sonra ne yapacağız? Uzay-zamanın öyküsünde bundan sonraki bölüm nedir? Elbette hiç kimse bundan tam olarak emin değil. Ama son yıllarda birtakım ipuçları ortaya çıktı ve her ne kadar henüz bunlar var olan resimle tam olarak bütünleşmemiş olsa da, birçok fizikçi bu ipuçlarının evren kavrayışımızda yeni bir alt-üst oluşa işaret ettiğine inanıyorlar. Bu alt-üst oluşa giden yolda, şimdi algıladığımız şekliyle uzay ve zaman, fiziksel gerçekliğin altında yatan anlaşılması daha zor, daha derin ve daha temel ilkelerin yalnızca ipuçları olabilirler. Bu öykünün son bölümünde bu ipuçlarından bazılarını göz önüne alalım ve evrenin dokusunu anlamak için sürmekte olan çabalarımızın nereye doğru yönleneceğinin izlerini yakalamaya çalışalım.

Uzay ve Zaman Temel Kavramlar Mıdır?

Alman filozof Immanuel Kant uzay ve zaman kavramları olmaksızın evren konusunda düşünmenin ve evreni tanımlamanın yalnızca güç olmakla kalmayacağını, kesin olarak olanaksız olduğunu söylemişti. Doğruyu söylemek gerekirse, Kant in buraya nereden geldiğini görebiliyorum. Ne zaman otursam, gözlerimi kapayıp bir şekilde uzayda yer kaplamayan ve zamandan etkilenmeyen bir şeyler hakkında düşünmeye çalışsam, başarısız oluyorum. Çok başarısız. Bağlam yoluyla uzay ve değişim yoluyla zaman her zaman konuya giriyor. Gariptir ki, düşüncelerimi doğrudan uzay-zaman bağlantısından kurtarmaya en yaklaştığım an, matematik hesaplarına (ki bunlar genellikle uzay- zamanla ilişkili hesaplar!) daldığım zaman oluyor çünkü anlık bile olsa matematiğin doğası, uzay ve zamandan bağımsız gibi duran soyut bir çerçevede düşüncelerimi yutuyor gibi görünüyor. Ama düşüncelerin kendileri ve içinde yer aldıkları ortam, her şeye rağmen bildiğimiz uzay ve zamanın parçaları. Uzay ve zamandan kendimizi kurtarmak, gölgemizden kurtulmak kadar olanaksızdır.

Bununla birlikte, günümüzün önde gelen fizikçileri, her ne kadar nüfuz edici de olsalar, uzay ve zamanın gerçekten temel olmayabileceğinden kuşkulanıyorlar. Nasıl bir top güllesinin sertliği atomlarının ortak özelliklerinden kaynaklanıyorsa, nasıl bir gülün kokusu onu oluşturan moleküllerin ortak özelliklerinden kaynaklanıyorsa ve nasıl bir çitanın hızı kaslarının, sinirlerinin ve kemiklerinin ortak özelliklerinden kaynaklanıyorsa, uzayın ve zamanın nitelikleri de -bu kitapta incelemeye çalıştığımız şeylerin çoğu- henüz bilmediğimiz daha temel bileşenlerin ortak özelliklerinden kaynaklanıyor olabilir.

Fizikçiler bunu bazen uzay-zamanın bir yanılsama olabileceğini söyleyerek özetlerler ki bu betimleme kışkırtıcı olsa da anlamı daha uygun bir yorum gerektirir. Ne de olsa size eğer hızlı bir top mermisi çarparsa, eğer bir gül kokusu duyarsanız veya hızla koşan bir çita görürseniz, bunların varlığını yalnızca bunlar daha temel bileşenlerden oluştukları gerekçesiyle inkâr edemezsiniz. Tersine, çoğumuzun bu madde yığınlarının var olduğu ve üstelik bunların bilinen özelliklerinin atomik bileşenlerinden nasıl kaynaklandığının incelenmesinden çok şey öğrenilebileceği konusunda fikir birliği içinde olduğumuzu düşünüyorum. Ama bütün bunlar bileşik olduklarından, yapmamamız gereken şey, top gülleleri, gül kokuları

ve çitalar üzerine bir evren kuramı oluşturmaya çalışmaktır. Benzer biçimde eğer uzay ve zamanın bileşik varlıklar olduğu ortaya çıkarsa, bu, Newton'un kovasından Einstein'ın kütleçekimine kadar karşımıza çıkan değişik görünümlerinin yanılsamalar olduğu anlamına gelmez; uzay ve zamanın kavrayışımızda gelecekte ortaya çıkacak gelişmelerden bağımsız olarak, deneysel gerçekliği kucaklayan konumlarını koruyacaklarına hiç kuşku yoktur. Ama bileşik uzay-zaman, evrenin çok daha temel bir tanımının -uzaysız ve zamansız bir tanım- keşfedilmesi gerektiği anlamına gelir. O zaman yanılsama bizden kaynaklanıyor demektir ki bu da, evreni en derinden kavrayışın uzay ve zamanı olabileceği kadar berrak bir noktaya getireceği yolundaki yanlış inanıştır. Nasıl maddeyi atom-altı düzeyde incelediğinizde top mermisinin sertliği, gülün kokusu veya çitanın hızı ortadan kayboluyorsa, uzay ve zaman da doğa yasalarının en temel biçimiyle mercek altına alındıklarında benzer biçimde ortadan yok oluyor olabilirler.

Uzay-zamanın en temel kozmik yapıtaşları arasında olmayışı size doğal olmayan bir zorlamaymış gibi gelebilir. Haklı da olabilirsiniz. Uzay-zamanın derin fizik yasalarından çıkmak üzere olduğu söylentisi aptalca kuramlardan kaynaklanmıyor. Tam tersine, bu fikir, nedenleri çok sağlam olan bazı görüşlerce ileri sürülüyor. Şimdi bunların en belirgin olan bazılarına bir göz atalım.

Kuantum Ortalaması

Bölüm 12'de uzayın dokusunun kuantum evreninde geri kalan her şey gibi nasıl kuantum belirsizliği titreşimlerine maruz kaldığını görmüştük. Hatırlayacağınız gibi, nokta-parçacık kuramlarını ciddiye almayıp, onları anlamlı bir kuantum kütleçekimi kuramı ortaya koymaktan alıkoyan işte bu titreşimlerdi. Sicim kuramı nokta parçacıkları halkalar ve sicimlerle değiştirerek bu titreşimleri dağıtır -genliklerini önemli ölçüde azaltır- ve bu yolla da kuantum mekaniği ile genel göreliliği başarılı bir şekilde birleştirir. Bununla birlikte, çok küçülmüş uzay-zaman titreşimleri hâlâ varlıklarını sürdürürler (Şekil 12.2'de sondan bir önceki büyütme düzeyinde görüldüğü gibi) ve biz de bunların içinde uzay-zamana ilişkin önemli ipuçları bulabiliriz.

Birincisi, düşüncelerimize hâkim olan ve denklemlerimizi destekleyen, bilindik uzay ve zamanın bir tür ortalama alma süreci sonucunda ortaya çıktığını anlarız. Televizyon ekranına birkaç santimetre uzaktan baktığınızda gördüğünüz piksellere ayrılmış görüntüyü düşünün. Bu görüntü, daha uzaktan baktığınızda gör-düğünüz görüntüden çok farklıdır çünkü artık bir kere tek tek pikselleri ayıramamaya başladığınızda, gözleriniz bunları daha pürüzsüz görünen ortalama bir görüntü olarak algılar. Ama dikkat ederseniz, bilindik, sürekli görüntü bir ortalama alma süreci sonucunda gerçekleşmiştir. Benzer şekilde uzay-zamanın mikroskobik yapısı rasgele salınımlarla delik deşik bir yapıdadır ama uzay-zamanı böylesi minik ölçeklerde çözümleme yeteneğine sahip olmadığımız için bunun doğrudan farkına varmayız. Gözlerimiz ve hatta en güçlü araçlarımız bile bu salınımları tıpkı televizyon piksellerinde olduğu gibi birleştirerek ortalamasını alır. Bu salınımlar rasgele olduğundan, küçük bir bölgede "yukarı" yöndeki salınımlar kadar "aşağı" yönde de salınımlar vardır, o nedenle ortalama alındığında birbirlerini yok ederler ve ortaya sakin bir uzay-zaman çıkar. Ama televizyon benzetmesinde olduğu gibi, sakin bir uzay-zaman görüntüsü ancak bir ortalama alma süreci sonucunda elde edilir. Kuantum ortalaması, bilindik uzay-zamanın bir yanılsama olabileceğini ileri sürmenin dünyasal bir yorumunu ortaya koyar. Ortalamalar pek çok bakımdan faydalıdır ama yapıları gereği görüntüyü oluşturan ayrıntıları ortaya koymazlar. Her ne kadar bir Amerikan ailesindeki ortalama çocuk sayısı 2,2 ise de, böyle bir aile bulmanızı istesem, zor durumda kalırsınız. Her ne kadar ulusal düzeyde bir galon sütün fiyatı ortalama olarak 2783 dolar ise de, sütü tam bu fiyata satan bir market bulmanız olanaksızdır. Bu durumda kendisi de bir ortalama alma sürecinin ürünü olan uzay-zaman da "temel" olarak adlandırmak isteyeceğimiz bir şeyin ayrıntılarını tanımlamıyor olabilir. Uzay ve zaman evreni en alt mikroskobik ölçeklerin dışında çözümlemek için son derece faydalı, yaklaşık ve bileşik kavramlar olabilir ama yine de 2.2 çocuklu bir aile kadar yanıltıcı olabilirler.

ikinci ve bununla ilgili bir görüş, küçülen ölçeklerde gittikçe artan kuantum titreşimlerinin, uzaklıkları ve süreleri daha küçük parçalara bölme kavramının Planck uzunluğu (10-33 cm) ve Planck zamanı (10-43 saniye) civarlarında sona erdiğini belirtiyor olmasıdır. Bu fikirle, her ne kadar bu kavram bilindik uzay ve zaman algımızla ters düşüyorsa da, sıradan kavramlara ilişkin bir özelliğin mikro ölçeğe indirgendiğinde varlığını sürdürememesinin özel olarak şaşırtıcı olmadığını vurguladığımız, Bölüm

12'de karşılaşmıştık. Uzayla zamanın keyfi olarak bölünmesi, en bilindik ve sıradan özelliklerinden biri olduğu için, bu kavramın en küçük ölçeklere uygulanamaması, mikro-derinliklerde bir başka şeyin -uzay-zamanın içyapısı diyebileceğimiz bir şeyin- bilindik uzay-zaman kavramının dönüştüğü bir varlığın bulunduğu yolunda ipuçları verir. Bu temel bileşenin, uzay-zamanın bu en ilksel maddesinin daha küçük parçalara bölünmeye izin vermesini beklemiyoruz çünkü karşımıza eninde sonunda çıkacak olan çok şiddetli dalgalanmalar nedeniyle bu, doğrudan deneyimlerimizden bildiğimiz büyük ölçekli uzay-zaman gibi değildir. Bu nedenle, uzay-zamanın temel bileşenlerinin -her ne iseler- görünüşleri, bildiğimiz uzay-zamanı ortaya çıkaran ortalama alma süreçleri tarafından değiştiriliyor olma olasılığı yüksekmiş gibi görünüyor.

Bu yüzden bildiğimiz uzay-zamanı doğanın en derin yasalarının içinde aramak, Beethoven'in Dokuzuncu Senfoni'sini tek tek notalara bakarak veya Monet'in ünlü tablolarından birini tek tek fırça darbelerinden anlamaya çalışmaya benzer. En temel düzeyde kendisine benzeyen hiçbir şey var olmadığı için, doğanın uzay-zaman bütünü de insanın ifade yeteneğinin bu sıra dışı eserleri gibidir.

Çevirideki Geometri

Fizikçilerin geometrik ikilik (dualite) olarak nitelediği bir başka görüş, uzay-zamanın temel olmayabileceğini ileri sürer ama bunu çok farklı bir bakış açısından yapar. Tanımı, kuantum ortalama alma sürecinden biraz daha teknik olduğu için, eğer bu alt-bölümde anlatılanlar size biraz ağır gelirse atlamakta duraksamayın. Ama pek çok araştırmacı burada anlatılanları sicim kuramının en simgesel özellikleri arasında saydıkları için, bu fikirlerin özünü anlamaya çalışmakta yarar var.

Bölüm 13'te farklı oldukları ileri sürülen beş sicim kuramı versiyonunun aslında nasıl aynı kuramın farklı çevirileri olduğunu görmüştük. Diğer şeylerin arasında bunun güçlü bir kavrayış olduğunu vurgulamıştık, çünkü çok zor problemler bile doğru çevrildiklerinde son derece kolay çözülebilirler. Ama çeviri sözlüğünün, benim şu ana kadar anlatmayı göz ardı ettiğim, bu kuramları birleştirmek gibi bir özelliği de var. Nasıl bir sorunun zorluk derecesi bir sicim kuramından diğerine çevrildiğinde kökten

bir biçimde değişiyorsa, uzay-zamanın geometrik biçiminin tanımı da değişir. Şöyle anlatayım:

Sicim kuramı bildiğimiz üç uzay boyutu ve bir zaman boyutundan fazlasını gerektirdiği için, Bölüm 12 ve 13'te bu fazladan boyutların nerede saklanıyor olabilecekleri konusuna yoğunlaşmıştık. Bulduğumuz cevap, bunların şimdiye kadar deneysel olarak saptayamayacağımız kadar küçük ölçüde kıvrılmış olabilecekleri yolundadır. Bildiğimiz büyük boyutlardaki fiziğin, fazladan boyutların kesin biçimine ve ölçülerine bağlı olduğunu, çünkü bunların geometrik özelliklerinin sicimlerin sergileyebileceği titreşim desenlerini etkileyebileceğini de bulmuştuk. Güzel. Şimdi de anlatmayı sonraya bıraktığım bölüme gelelim.

Bir sicim kuramında ifade edilen soruları başka bir sicim ku-ramında ifade edilen farklı sorulara çeviren sözlük aynı zamanda ilk kuramdaki fazladan boyutların geometrisini ikinci kuramdaki farklı bir geometriye dönüştürür. Eğer, örneğin fazladan boyutların belirli bir şekilde ve ölçüde kıvrılmış olduğu IIA Türündeki sicim kuramının fiziksel sonuçlarını inceliyorsanız, o zaman, ulaşabileceğiniz her sonuca, en azından ilke olarak, IIB Türündeki sicim kuramına uygun bir biçimde çevrilmiş soruları göz önüne alarak dil ulaşabilirsiniz. Ama çeviride kullanılacak sözlük, IIB Türündeki sicim kuramındaki fazladan boyutların IIA Türündeki kuram tarafından verilen biçime bağlı olmasını -ama genel olarak ondan farklı olmasını- gerektirir. Kısacası, kıvrılmış olan boyutları bir geometrik şekilde olan belirli bir sicim kuramı, fazladan boyutları farklı bir geometrik şekilde olan bir başka sicim kuramına eşdeğerdir; onun çevirisidir.

Ve uzay-zaman geometrisindeki farklar da küçük olmak zorunda değildir. Örneğin, eğer IIA Türünden sicim kuramındaki fazladan boyutlardan biri, Şekil 12.7'deki gibi bir çember şeklinde kıvrılmışsa, çeviri sözlüğü bunun, fazladan boyutlarından biri gene çember şeklinde ama bu sefer yarıçapı özgün çemberin yarıçapıyla ters orantılı olacak şekilde kıvrılmış olan IIB Türünden bir sicim kuramıyla eşdeğer olduğunu gösterir. Eğer çemberlerden biri çok küçükse diğeri çok büyüktür veya ters; ama bu iki geometriyi birbirinden ayırt etmenin kesinlikle hiçbir yolu yoktur. (Eğer uzunlukları Planck uzunluğunun katları olarak ifade edersek, çemberlerden birinin yarıçapı R ise, matematiksel sözlük diğerininkinin yarıçapının 1/R olduğunu gösterir). Büyük ve küçük boyutları hemen ayırt edebileceğinizi düşünüyor olabilirsiniz ama sicim kuramında durum her zaman böyle değildir. Bütün gözlemler sicimlerin etkileşmelerinden kaynaklanır ve bu

iki kuram, yani büyük çembersel boyutlu IIA Türü ve küçük çembersel boyutlu IIB Türü, aynı fiziğin yalnızca iki farklı çevirisi -farklı ifade biçimleri- olarak yorumlanabilir. Her ne kadar her iki kuramın dili ve yorumlama biçimi farklı olabilirse de, bir sicim kuramı içinde tanımladığınız bir gözlem diğer sicim kuramında da alternatif ve aynı derecede uygulanabilir bir tanıma sahiptir. (Bunun olası olmasının nedeni, çembersel boyutta hareket eden sicimlerin iki farklı durumu olmasıdır: Tıpkı bir kola kutusunun etrafına sarılmış lastik bir bant gibi sicimlerin çemberin etrafına sarıldığı ve sicimin çemberin bir bölümünün içinde kaldığı ama ona sarılmadığı durumlar. ilk durumlarda enerji çemberin yarıçapı ile orantılıdır [yarıçap büyüdükçe sarılmış olan sicimler daha fazla gerilirler, bu nedenle de daha fazla enerji barındırırlar], ikinci durumlarda ise enerji çemberin yarıçapı ile ters orantılıdır [yarıçap küçüldükçe sicimler daha dar bir alana sıkışır ve kuantum belirsizliği nedeniyle daha enerjik bir biçimde hareket ederler]. Dikkat edilirse özgün çember diğeri ile aynı zamanda "sarılmış" sicimler "sarılmamış" olanlarla değiştirildiğinde fiziksel enerjiler -ve görünüşe bakılırsa genel olarak fizik- etkilenmiyor. IIA Türü kuramı IIB Türünde kurama çeviren sözlüğün gerektirdiği ve görünüşe göre iki farklı geometrinin -büyük ve küçük çembersel boyutlar- eşdeğer olmasının nedeni de tam olarak budur.)

Çembersel boyutlar Bölüm 12 de anlatılan daha karmaşık Calabi-Yau şekilleriyle değiştirildiğinde de benzer bir durum söz konusudur. Fazladan boyutları belirli bir Calabi-Yau şeklinde kıvrılmış olan bir sicim kuramı bu sözlük tarafından fazladan boyutları farklı bir Calabi-Yau şekli biçiminde (özgün şeklin aynası veya duali olarak adlandırılır) kıvrılmış olan farklı bir sicim kuramına çevrilebilir. Bu durumlarda Calabi-Yau'ların yalnızca boyutları değişmekle kalmaz, deliklerinin sayısı ve şekli de içinde olmak üzere şekilleri de değişir. Ama çeviri sözlüğü bunların doğru biçimde değişmelerini sağlar öyle ki, her ne kadar fazladan boyutların büyüklüğü ve şekilleri farklı da olsa, her kuram sonucunda ortaya çıkan fizik tam olarak aynı kalır. (Verilen bir Calabi-Yau şeklinde iki tür delik vardır ama öyle görünüyor ki sicim titreşim desenleri -ve dolayısıyla bunların fiziksel sonuçları- yalnızca her şekildeki delik sayısının farkına duyarlı. Yani eğer bir Calabi-Yau’nun ilk türden iki deliği ve ikinci türden beş deliği; bir diğer Calabi-Yau'nunsa ilk türden beş, ikinci türden iki deliği varsa, o zaman her ne kadar bunlar geometrik şekil olarak birbirlerinden farklı da olsalar, fizik olarak aynı sonuçları verirler.

Bir başka bakış açısına göre bu, uzayın temel bir kavram olmadığı yönündeki kuşkuyu destekliyor. Evreni beş sicim kuramından biriyle tanımlayan biri, fazladan boyutlar da içinde olmak üzere uzayın belirli bir şekli ve büyüklüğü olduğunu öne sürerken, sicim kuramlarından bir başkasını kullanan biri ise fazladan boyutlar da içinde olmak üzere evrenin şekil ve büyüklüğünün farklı olduğunu ileri sürecektir. Her iki gözlemci de aynı fiziksel evrenin farklı matematiksel tanımlamalarını kullandıkları için birinin doğru, diğerininse yanlış olması söz konusu değildir. Uzay -şekli ve büyüklüğü- konusunda farklı sonuçlara ulaşmış olsalar bile ikisi de doğrudur. Dikkat edilirse bunun nedeni özel görelilikte olduğu gibi uzay-zamanın farklı ama aynı derecede geçerli yollarla dilimlenmesi değildir. Bu iki gözlemci uzay-zamanın genel yapısının kendisi üzerinde anlaşmazlığa düşerler. Konunun özü de budur. Eğer uzay-zaman gerçekten temel olsaydı, çoğu fizikçi bakış açısından bağımsız olarak -kullandıkları dilden ya da kuramdan bağımsız olarak- herkesin uzay-zamanın geometrik özellikleri konusunda fikir birliği içinde olmalarını beklerdi. Ama en azından sicim kuramı içinde durumun böyle olması gerekmediği gerçeği, uzay-zamanın ikincil bir olgu olabileceğini ima eder.

Bu nedenle şunu sormamız gerekli olur: Eğer son iki alt- bölümdeki ipuçları bizi doğru yönlendiriyorsa ve bildiğimiz uzay-zaman çok daha temel bir başka varlığın büyük ölçekli, farklı bir görünümü ise acaba o varlık nedir ve temel özellikleri nelerdir? Bugün için bunu kimse bilmiyor. Ama cevapları ararken araştırmacılar başka ipuçları da buldular. Bunların en önemlisi kara delikleri düşünürken ortaya çıktı.

Kara Deliklerdeki Entropinin Nedeni

Kara delikler evrendeki en anlamlı pokerci suratlarına sahiptirler. Dışarıdan bakıldığında olabilecek en basit şeyler gibi görünürler. Kara deliklerin ayırıcı üç özelliği kütlesi (ki ne kadar büyük olduğunu -merkezinden olay ufkuna, ışığın bile geri denemediği yüzeye kadar olan uzaklık- belirler), elektrik yükü ve dönme hızıdır. Hepsi bu. Kara deliklerin evrene gösterdikleri yüze daha yakından bakarak elde edilebilecek başka bir ayrıntı yoktur. Fizikçiler bunu "Kara deliklerin saçı yoktur" deyişiyle özetlerler ki bunun anlamı bireyselleştirmeye uygun ayrıntılı özelliklerinin olmadığıdır. Eğer belirli bir kütleye sahip bir kara delik görmüşseniz (aslında kara delikler kara olduklarından bu bilgileri de çevrelerindeki gaz

ve yıldızların üzerindeki etkilerinden, dolaylı olarak anlamışsınızdır) kesinlikle hepsini görmüşsünüz demektir.

Yine de taşsı görünüşlerinin ardında kara delikler evrenin şu ana kadar bildiği en büyük kargaşa kaynaklarını barındırırlar. Verilen bir büyüklükte ve herhangi bir yapıdaki fiziksel sistemler arasında kara delikler olabilecek en yüksek entropiye sahiptirler. Bölüm 6'dan bunun hakkında düşünmenin genel bir yolunun, doğrudan cismin iç yapıtaşları arasında dış görünüşünü değiştirmeden yapılabilecek yeniden düzenlemelerin ölçüsü olan entropi tanımından geldiğini hatırlayın. Kara deliklere gelince, iç bileşenlerinin ne olduğunu tam olarak bilemesek de -çünkü kara deliğin merkezinde madde ezilirken neler olduğunu tam bilmiyoruz- tıpkı sayfalarının yeniden düzenlenmesinin Savaş ve Barış ın ağırlığına bir etkisi olmaması gibi, bu bileşenlerin yeniden düzenlenmesinin kara deliğin kütlesine, elektrik yüküne ve dönme hızına bir etkisi olmayacağını büyük bir güvenle söyleyebiliriz. Kütle, elektrik yükü ve dönme, kara deliğin dış dünyaya gösterdiği yüzü tümüyle belirlediği için, tüm bu değişiklikler fark edilemez olarak kalır ve kara deliklerin en büyük entropiye sahip olduklarını söyleyebiliriz.

Bu durumda bile kara deliğin entropisini artırmanın basit bir yolunu şöyle ileri sürebilirsiniz. Verilen bir kara delikle aynı büyüklükte içi boş bir küre yapın ve gazla doldurun (hidrojen, helyum, karbondioksit veya her ne ise). Gaz kürenin içine yayılacaktır. Daha fazla bileşen daha büyük yeniden düzenlenme sayısı anlamına geldiğinden, ne kadar fazla gaz pompalarsanız entropi de o kadar artacaktır. Tahmin edebileceğiniz gibi, siz gaz pompalamayı sürdürdükçe entropi de sürekli olarak artacak ve sonunda kara deliğin entropisini geçecektir. Bu zekice bir stratejidir ama genel görelilik bize bunun başarısız olacağını söyler. Siz gaz pompalamayı sürdürdükçe kürenin içindeki gazın da kütlesi giderek artar. Siz henüz aynı kütledeki bir kara deliğin entropisine ulaşamadan kürenin içindeki gazın kütlesi kritik eşiği aşar ve küre ile içindeki gazın bir kara deliğe dönüşmesine neden olur. Bunu değiştirmenin hiçbir yolu yoktur. Kara delikler en yüksek entropi konusunda tekeli ellerinde bulundururlar.

Eğer kara deliğin kendisine gaz pompalamayı sürdürerek entropiyi daha fazla artırırsanız ne olur? Entropi gerçekten artmaya devam edecektir ama siz oyunun kurallarını değiştirmiş olursunuz. Madde kara deliğin aç olay ufkuna ulaştığında yalnızca kara deliğin entropisi artmakla kalmaz, boyutları da büyür. Kara deliğin boyutları kütlesiyle orantılıdır, dolayısıyla

siz kara deliğe daha fazla madde gönderdikçe onun hem boyutu hem de kütlesi artar. Bu nedenle, bir kara delik yaratarak uzayın bir bölgesindeki entropiyi en yüksek düzeye çıkarmışsanız, bu bölgede entropiyi daha da artırma yolundaki herhangi bir çaba başarısızlığa uğrayacaktır. O bölge daha fazla düzensizliği kaldıramaz. Entropi bakımından doyuma ulaşmıştır. Ne yaparsanız yapın, ister gaz pompalayın, isterseniz bir Hummer'la çarpın, kara deliğin büyümesine ve daha geniş bir uzay parçasını kaplamasına neden olursunuz. Bu yüzden bir kara deliğin içerdiği entropi bize yalnızca kara deliğin temel bir özelliğini anlatmakla kalmaz, uzayın kendisi hakkında da temel bir şey söyler:

Uzayın bir bölgesinde- uzayın herhangi bir bölgesinde, herhangi bir yerde, herhangi bir yamanda- oluşturulacak en büyük entropi, boyutları söz konusu uzay bölgesinin boyutları ile aynı olan bir kara deliğin taşıdığı entropiye eşittir.

Peki, verilen boyuttaki bir kara delik ne kadar entropi içerebilir? işlerin ilginçleşmeye başladığı yer, burası. Sezgisel olarak mantık yürütüp göz önünde daha rahat canlandırılabilir bir şeyle, bir kapla işe başlayalım. Eğer böyle iki kabı birleştirirseniz, toplam hacim ve hava molekülü sayısı iki katına çıkar ve entropinin de iki katına çıkacağını tahmin edersiniz. Ayrıntılı araştırmalar bu sonucu doğruluyor ve diğer her şey aynı kalmak koşuluyla (sıcaklık, yoğunluk vb.) fiziksel sistemlerin entropilerinin hacimleriyle doğru orantılı olduğunu gösteriyor. Doğal bir diğer tahmin ise bunun, daha az bilinen şeylere, örneğin kara deliklere de uygulanabileceğini düşünmektir ki, bu da bizi kara deliklerin entropisinin hacimleriyle doğru orantılı olduğu fikrine götürür.

Ama 1970'lerde Jacob Bekenstein ve Stephen Hawking bunun doğru olmadığını buldular. Onların yaptıkları matematiksel çözümlemeler entropinin bir kara deliğin hacmiyle değil, olay ufkunun alanıyla, kabaca söylemek gerekirse yüzey alanıyla orantılı olduğunu gösterdi. Bu çok farklı bir sonuçtur. Bir kara deliğin yarıçapı iki katına çıkarsa hacmi 8 (23) kat artarken yüzey alanı 4 (22) artar; yarıçapı yüz katına çıktığında hacmi bir milyon (1003) kat artarken yüzey alanı 10.000 (1002) kat artar. Büyük kara deliklerin hacmi yüzey alanlarından çok daha faz- ladır.2 Bu yüzden kara delikler verilen boyuttaki şeyler içinde en yüksek entropiye sahip olsalar bile, Bekenstein ve Hawking, bunların entropisinin bizim tahmin ettiğimizin çok altında olduğunu gösterdi.

Entropinin yüzey alanıyla orantılı olması yalnızca kara deliklerle kaplar arasında not edeceğimiz ve hızla konuyu değiştireceğimiz, ilgi çekici bir ayrım değildir. Kara deliklerin uzayın bir bölgesine ilkesel de olsa sığdırılabilecek entropiye bir sınır getirdiğini görmüştük: Söz konusu uzay bölgesiyle aynı boyutlara sahip bir kara delik alın, ne kadar entropi içerdiğini bulun, işte bu, o bölgeye sığdırılabilecek entropi miktarının mutlak sınırıdır. Bu entropi, Bekenstein ve Hawking'in çalışmalarının gösterdiği gibi, kara deliğin yüzey alanıyla -aynı boyutta olabilecekleri için bu, bölgenin yüzey alanına eşittir- orantılı olacağı için, verilen bir uzay bölgesinin sahip olabileceği en fazla entropinin, bölgenin yüzey alanıyla orantılı olduğu sonucuna ulaşırız.

Bu sonuçla kapta kapalı kalan havayı düşünerek bulduğumuz sonuç (orada entropinin kabın yüzey alanıyla değil, hacmiyle orantılı olduğunu bulmuştuk) arasındaki uyuşmazlık kolayca belirlenebilir: Havanın düzgün bir biçimde dağıldığını varsaydığımız için kap yaklaşımında kütleçekimi göz ardı edilmişti. Hatırlarsanız, kütle çekiminin maddenin kümelenmesi yönünde katkısı vardır. Düşük yoğunluklar söz konusu olduğunda kütleçekimini göz ardı etmenin bir sakıncası yoktur, ama eğer büyük entropileri, yüksek yoğunlukları göz önüne alıyorsanız kütleçekimi önemlidir ve bu nedenle kap yaklaşımı artık geçerli olmaz. Bunun yerine böylesi uç koşullar Bekenstein ve Hawking'in kütleçekimine dayanan hesaplarını gerektirirler ki bu durumda bir uzay bölgesinin en büyük entropi potansiyeli, bölgenin hacmiyle değil yüzey alanıyla orantılıdır.

Tamam, ama neden buna dikkat etmemiz gerekiyor? Bunun iki nedeni var.

Birincisi, entropi sınırı, mikroskobik ötesi uzayın atomize bir yapıya sahip olduğu yolunda bir başka ipucu veriyor. Ayrıntılar şöyle: Bekenstein ve Hawking eğer bir kara deliğin olay ufku üzerine her karesinin boyutları bir Planck uzunluğu olan (böylece her "Planck karenin" alanı yaklaşık 10-66 cm2 olur) satranç tahtası biçiminde bir desen çizdiğinizi varsayarsanız, o zaman kara deliğin entropisinin, yüzeyine sığacak kare sayısına eşit olacağını buldular. Bu sonucun güçlü bir şekilde işaret ettiği ipuçlarını fark etmemek zordur: Her Planck kare en küçük, temel bir uzay birimidir ve her biri en küçük, tek bir entropi birimi taşır. Buradan da bir planck karenin içinde, ilke olarak da olsa, yer alabilecek hiçbir şey yoktur çünkü böyle herhangi bir etkinlik düzensizliği destekleyebilir ve böylece her kare Bekenstein ve Hawking'in bulduğu tek entropi biriminden daha fazlasını

içerebilir. Bu durumda, bir kere daha, tümüyle farklı bir bakış açısından elementsel uzay varlığı kavramına ulaşıyoruz.

İkincisi, bir fizikçi için uzayın belirli bir bölgesinde bulunacak entropinin üst sınırı kavramı kritik, neredeyse kutsal bir büyük-lüktür. Bunun nedenini anlamak için, davranışsal bir psikiyatrisi adına çalıştığınızı varsayın, işiniz de son derece hiperaktif çocuk grupları arasındaki etkileşmelerin anlık ayrıntılı kayıtlarını tutmak olsun. Her gün o günkü grubun iyi davranması için dua ediyorsunuz çünkü ne kadar karmaşa yaratırlarsa sizin işiniz de o kadar zorlaşıyor. Bunun nedeni son derece açık olmasına rağmen net bir biçimde ifade etmekte yarar var: Çocuklar ne kadar düzensiz olurlarsa sizin de o kadar çok şeyin kaydını tutmanız gerekir. Evren de bir fizikçiye hemen hemen aynı problemi sunar. Temel bir fizik kuramı, verilen bir uzay bölgesinde süregiden, ya da ilke olarak da olsa süregidebilecek olan her olayı tanımlamayı amaçlar. Tıpkı çocuklarda olduğu gibi, bir bölge ne kadar çok düzensizlik içerirse -ilke olarak da olsa- kuramın izleyebilmesi gereken o kadar çok şey olur. Bu nedenle bir bölgenin içerebileceği en büyük entropi belirleyici bir turnusol kâğıdı testidir: Fizikçiler gerçekten temel olan bir kuramın verilen bir uzay bölgesi için en büyük entropiyle uyumlu olmasını beklerler. Kuram doğayla o kadar büyük bir uyum içinde olmalıdır ki, düzensizliği izlemek için en büyük kapasitesi, bir bölgenin içerebileceği en büyük düzensizliğe tam olarak eşit olmalıdır, az ya da fazla değil.

Önemli nokta, eğer kap sonucu sınırsız geçerliliğe sahip olmuş olsaydı, temel bir kuramın herhangi bir bölgenin hacmindeki düzensizlik miktarını açıklayabilecek kapasitesi olmasının gerekmesidir. Ama kütleçekimi işin içine katıldığında bu düşünüş biçimi başarısızlığa uğradığı için - ve temel kuramın kütleçekimini kapsaması gerektiği için- temel bir kuramın bir bölgenin yalnızca yüzey alanındaki düzensizlikleri açıklayabilmesi gerektiğini öğreniyoruz. Birkaç paragraf önce bazı sayısal örneklerle açıkladığımız gibi, büyük bölgeler için bu ikincisi, öncekinden çok daha küçüktür.

Bu nedenle Bekenstein ve Hawking'in buldukları sonuç, bize kütleçekimini kapsayan bir kuramın, bir anlamda kapsamayan bir kuramdan daha basit olduğunu söyler. Kuramın tanımlamak zorunda olduğu daha az "özgürlük derecesi " -yani değişebilecek, dolayısı ile düzensizliğe katkıda bulunacak daha az şey- vardır. Bu kendi başına ilginç bir kavrayış olmakla birlikte eğer bu düşünce biçimini bir adım ileri götürürsek, bize son derece olağandışı, fantastik bir şey anlatır. Eğer verilen bir uzay bölgesindeki en

büyük entropi bölgenin hacmiyle değil de yüzey alanıyla orantılı ise, o zaman belki de gerçek, temel özgürlük dereceleri -düzensizliğe yol açma potansiyeli taşıyan nitelikler- aslında bölgenin hacminin içinde değil, yüzeyinde bulunurlar. Belki de evrendeki gerçek fiziksel süreçler çevremizi sarmalayan ince, uzak bir yüzeyde olup bitiyor ve bütün gördüğümüz ve yaşadığımız bu süreçlerin yansımaları olabilir. Yani belki de evren bir tür holograma benziyor olabilir.

Bu garip bir düşüncedir ama birazdan inceleyeceğimiz gibi, son zamanlarda epeyce destek bulmuştur.

Evren Bir Hologram mı?

Hologram şekil verilmiş iki boyutlu bir plastik parçasıdır. Uygun bir lazer ışını ile aydınlatıldığında üç boyutlu bir görüntü verir. 1990'ların başında Nobel ödüllü Hollandalı Gerard Hooft ve sicim kuramının yaratıcılarından Leonard Susskind, evrenin kendisinin holograma benzer bir şekilde işliyor olabileceğini öne sürdüler. Gündelik hayatta gözlediğimiz üç boyutlu geliş-gidişlerin uzak, iki boyutlu bir yüzey üzerinde yer alan fiziksel süreçlerin holograf benzeri izdüşümleri olabileceği yönünde şaşırtıcı bir fikir ortaya attılar. Bu yeni ve kulağa garip gelen bakış açısına göre, bizler ve yaptığımız veya gördüğümüz her şey holograf görüntülerine benziyor. Platon ortak algıları yalnızca gerçekliğin gölgeleri olarak yorumlarken holograf ilkesi de benzer bir yapı sergiler ama benzetmeyi tersine çevirir. Gölgeler - yassı yapıları nedeniyle ancak daha düşük boyutlu yüzeylerde hayat bulan şeyler- gerçektir, ama çok daha zengin yapılı gibi duran, daha yüksek boyutlu varlıklar (bizler; çevremizdeki dünya) yalnızca gölgelerin uçucu izdüşümleridir.

Yine, son derece acayip bir fikir olmakla ve uzay-zamanın son kavrayışındaki rolü açıklıktan uzak olmakla birlikte, Hooft ve Susskind'in holografik ilke olarak bilinen ilkelerinin temeli güçlüdür. Çünkü son bölümde incelediğimiz gibi, uzayın bir bölümünün içerebileceği en büyük entropi, içinin hacmiyle değil, yüzeyinin alanıyla orantılıdır. O zaman evrenin en temel bileşenlerinin, en temel özgürlük derecelerinin -Savaş ve Barış’ın sayfalarının kitabın entropisini gösterebilmesi gibi evrenin entropi-sini gösteren varlıklar- evrenin içinde değil, onu çevreleyen yüzeyde bulunacağını tahmin etmek son derece doğaldır. Evrenin "hacminde"

yaşadıklarımız -fizikçilerin genel olarak adlandırdığı şeyler- tıpkı holografik bir resimde gördüklerimizin çevreleyen bir plastik parçası üzerine kazınmış olan bilgi tarafından belirlenmesi gibi, evreni çevreleyen yüzeyde olup bitenler tarafından belirlenir. Fizik yasaları evrenin lazeri gibi çalışarak evrendeki gerçek süreçleri -ince ve uzak bir yüzeyde yer alan süreçleri- aydınlatır ve gündelik hayatımızın holografik yanılsamalarını üretir.

Bu holografik ilkenin gerçek dünyada nasıl gerçekleştiğini henüz çözemedik. Problemlerden biri, bildiğimiz tanımlarda evrenin ya sonsuza kadar yaşaması ya da bir küre gibi veya bir video oyun ekranı gibi kendi üzerine kapanmasıdır (Bölüm 8'de olduğu gibi) ki bu durumda evren kendisini sınırlayan bir yüzeye sahip değildir. O zaman, ileri sürülen bu "çevreleyen holografik yüzey" nereye yerleştirilebilir? Üstelik fiziksel süreçler hemen burada, evrenin derinliklerinde bizim kontrolümüz altındaymış gibi duruyor. Yerleştirilmesi zor bir yüzey üzerindeki bir şey, bir şekilde burada olup-bitenleri kontrol ediyormuş gibi görünmüyor. Acaba holografi ilkesi kontrol ve bağımsızlık duygusunun düşsel olduğunu mu söylüyor? Ya da holografiyi, birinin burada işleyen bilindik, temel yasalar (ki önsezi ve algılara uygundur) veya temel fiziğin evreni çevreleyen bir tür yüzey üzerinde gerçekleştiği, her ikisi de aynı derecede geçerli iki durumdan birini seçebildiği, fizik temelinde değil, tat temelinde işleyen, eklemlenmiş bir tür ikilik (duality) olarak düşünmek daha mı iyi? Bunlar, henüz açıklığa kavuşmamış, temel sorulardır.

Ama 1997'de, daha önceki sicim kuramcılarının fikirlerinden yararlanan Arjantin li fizikçi Juan Maldacena bu konular üzerindeki düşünceleri dramatik bir biçimde ileriye götüren bir atılım yaptı. Maldacena'nın keşfi gerçek evrenimizde holografinin rolü sorusuyla doğrudan ilişkili değildir. O, fiziğin zamanla ödüllendiren modasına uygun olarak, holografideki soyut şeylerin matematik yoluyla somut ve kesin hale getirilebildiği varsayımsal bir bağlam -varsayımsal bir evren- buldu. Teknik nedenlerle Maldacena varsayımsal bir evreni, Şekil 8.6'daki patates diliminin daha yüksek boyutlu bir benzeri olan, birörnek negatif eğriliğe sahip, dört büyük uzay boyutuna ve bir zaman boyutu bulunan bir evreni inceledi. Standart matematiksel çözümleme bu beş boyutlu uzay-zamanı çevreleyen yüzeyin', çevreleyen bütün yüzeylerde olduğu gibi, çevrelediği şekilden bir düşük sayıda boyutu olması gerektiğini gösterir: Uç uzay boyutu ve bir zaman boyutu. (Yüksek boyutlu uzayları göz önünde canlandırmak her zaman zordur, onun için mutlaka zihinsel bir resim isterseniz, bir kutu domates

suyu konservesini gözünüzde canlandırabilirsiniz; üç boyutlu domates suyu beş boyutlu uzay- zamana, kutunun iki boyutlu yüzeyi ise hacmi çevreleyen dört- boyutlu uzay-zaman sınırına benzer.) Sicim kuramının istediği fazladan kıvrılmış boyutları da ekledikten sonra Maldacena, son derece inandırıcı bir şekilde, bu evrende yaşayan bir gözlemcinin tanık olduğu fiziğin ("domates suyundaki" gözlemci) evreni çevreleyen yüzeyde olup-biten fizikle (kutunun yüzeyindeki fizik) tanımlanabileceğini gözler önüne serdi.

Her ne kadar gerçekçi olmasa da, bu çalışma, holografi ilkesinin gerçekleştirildiği elle tutulur ve matematiksel olarak izlenebilir olan ilk örneği oluşturuyordu. Bunu yaparken de bütün evrene uygulanan holografi kavramına ışık tutmuştu. Örneğin, Maldacena'nın çalışmasında hacim kavramı ve çevreleyen sınır yüzey kavramı mutlak bir biçimde eşittir. Biri birincil, diğeri ikincil değildir. Beş sicim kuramı arasındaki ilişkinin özüne çok benzer şekilde hacim ve çevreleyen sınır yüzey kuramları birbirinin çevirisi gibidir. Bu özel çevirinin olağandışı özelliği ise hacim kuramının çevreleyen yüzeyde tanımlanan eşdeğer kuramdan daha fazla boyuta sahip olmasıdır. Üstelik hacim kuramı kütleçekimini içerirken (Maldacena bunu sicim kuramı kullanarak formülleştirmişti) hesaplamalar, çevreleyen yüzeydeki kuramın kütleçekimini içermediğini gösteriyor. Yine de bu kuramlardan birinde sorulan bir soru veya yapılan bir hesap, diğerindeki eşdeğer bir soruya veya hesaba çevrilebilir. Çeviri sözlüğünden habersiz olan biri, bu soruların ve hesapların diğerleriyle kesin olarak hiçbir ilişkisi olmadığını düşünse de (örneğin çevreleyen sınır yüzey kuramı kütleçekimini içermediğinden, hacim kuramındaki kütleçekimiyle ilgili sorular yüzey kuramında kulağa çok farklı gelen, kütleçekimi içermeyen sorulara dönüşürler). Her iki kuramın dilini de bilen biri -her iki kuramda da uzman olan biri- bunların ilişkisini fark eder ve karşılıklı gelen sorularla yine karşılıklı gelen hesapların sonuçlarının uyuşması gerektiğini anlar. Gerçekten de şimdiye kadar yapılan bütün hesaplar uyuşmuştur ve bu durumu destekleyen çok sayıda örnek vardır.

Bütün bunların ayrıntılarını tam olarak kavramak zordur ama ana nokta çok açıktır. Maldacena'nın bulduğu sonuç hayranlık vericidir. Maldacena, sicim kuramı içinde holografinin gerçekleştirilmesinin varsayımsal olsa da sağlam bir yolunu bulmuştur. Kütleçekimi içermeyen belirli bir kuantum kuramının, kütleçekimini içeren ama bir fazla uzay boyutuyla formülleştirilen bir başka kuantum kuramının çevirisi olduğunu -ve ondan

ayrılamaz olduğunu- bulmuştur. Bu görüşlerin gerçek evrene nasıl uygulanabileceğini bulmak için başlatılan yoğun araştırma programları varsa da teknik nedenlerden dolayı elde edilen ilerleme son derece yavaştır. (Maldacena verdiğimiz örneği, matematiksel olarak çözümleme kolaylığı nedeniyle seçmişti; daha gerçekçi örneklerle uğraşmak çok daha zordur.) Bununla birlikte artık sicim kuramının, en azından bazı bağlamlarda, holografi kavramını desteklediğini biliyoruz. Daha önce sözü edilen geometrik çeviriler durumunda olduğu gibi bu da uzay-zamanın temel olmadığı yolunda bir başka ipucu sağlar. Kuramın bir formülleştirmesinden eşdeğerine çevirisi sırasında yalnızca uzay-zamanın büyüklüğü ve yapısı değişmekle kalmaz, aynı zamanda uzay boyutlarının sayısı da değişebilir.

Bu ipuçları giderek daha yoğun bir biçimde uzay-zamanın bi-çiminin, gerçekliğin temel bir öğesi olmaktan çok, fiziksel kuramın bir formülleştirilmesinden diğerine değişen ikincil bir ayrıntı olduğu sonucuna işaret ediyor. Tıpkı İngilizce ‘deki cat (kedi) sözcüğü İspanyolca karşılığı olan gato sözcüğüne çevrilirken harflerin sayısı, sesli ve sessiz harflerin sayısının değişmesi gibi, uzay-zamanın biçimi -şekli, büyüklüğü, hatta boyutlarının sayısı bile- çeviri sırasında değişir. Evren hakkında düşünmek için belirli bir kuramı kullanan herhangi bir gözlemciye göre uzay gerçek ve son derece temel görünebilir. Ama eğer aynı gözlemci kullandığı kuramın bir fomülleştirilmesinden eşdeğer olan bir başkasına geçerse, bir zamanlar gerçek ve temel olarak görünen şeyler de zorunlu olarak değişir. Bu yüzden, eğer bu fikirler doğru ise -kuramcılar çok büyük miktarda destekleyen kanıtlar bulmuş olsalar da bu fikirlerin henüz kesin bir biçimde kanıtlanmamış olduğunu vurgulamam gerekir- uzay ve zamanın temel olma niteliğini zora sokuyorlar.

Burada sözü edilen ipuçları arasında holografi ilkesinin gelecekteki araştırmalarda baskın rolü üstleneceğini söyleyebilirim. Bu, sağlam kanıtlara dayandığı konusunda fizikçilerin üzerinde fikir birliğinde oldukları kara deliklerin temel bir özelliğinden -entropilerinden-kaynaklanıyor. Kuramların ayrıntıları değişiyor olsa bile, kütleçekiminin anlamlı bir tanımının kara deliklere yer vermesini bekleriz ve bu nedenle, bu tartışmanın itici öğesi olan entropi sınırları kalıcı olacak ve holografi uygulanacaktır. Sicim kuramının doğal olarak holografi ilkesiyle bütünleşmesi -en azından matematiksel çözümleme ile izlenebilen örneklerde- ilkenin geçerli oluşunu destekleyen bir başka güçlü kanıttır. Uzay ve zamanın temeli konusundaki araştırmaların bizi götürebileceği

yerden ve dönemecin arkasında bizi bekleyen sicim/ M kuramı konusundaki değişikliklerden bağımsız olarak holografinin kılavuzluk yapan bir kavram olarak kalmakta devam etmesini bekliyorum.

Uzay-Zamanın Bileşenleri

Bu kitap boyunca periyodik olarak uzay-zamanın mikroskobik ötesi bileşenlerini ima ettik ama her ne kadar bunların varlığı konusunda elimizde dolaylı kanıtlar varsa da, henüz bu bileşenlerin gerçekte ne olabilecekleri konusunda hiçbir şey söylemedik. Elbette bunun bir nedeni var. Çünkü bunların ne olduğu konusunda bizim de hiçbir fikrimiz yok. Veya belki de şöyle demeliyim: Uzay-zamanın temel bileşenlerini tanımaya gelince, gerçekten doğruluğuna güvendiğimiz hiçbir fikre sahip değiliz.

Bu, kavrayışımızdaki büyük bir boşluktur ama şimdi bu probleme tarihsel bağlamı içinde bakmakta yarar var.

Eğer on dokuzuncu yüzyıl sonlarında bilim insanları arasında maddenin temel bileşenlerinin ne olabileceği konusunda bir anket araştırması yapmış olsaydınız, evrensel bir fikir birliği olmadığını görürdünüz. Yalnızca bir yüzyıl önce atom hipotezi henüz tartışmalıydı; konuyu yanlış düşünen ünlü bilim insanları vardı, Ernst Mach da bunlardan biriydi. Üstelik atom hipotezinin yirminci yüzyıl başlarından sonra yaygın bir biçimde kabul görmeye başlamasından itibaren bilim insanları bu yapıyı çok daha temel olduğuna inanılan bileşenlerle güncellemeye devam ettiler (örneğin önce proton ve nötronlar, daha sonra kuarklar). Sicim kuramı bu yoldaki son adımdır ama henüz deneysel olarak doğrulanmadığı için (doğrulanmış olsa bile, geliştirilmeyi bekleyen, çok daha rafine bir kuramın varlığını olanaksız kılmazdı) doğanın temel maddesel bileşenleri konusundaki araştırmaların sürdüğünü belirtmemiz gerekir.

Uzay ve zamanın modern bilimsel bir bağlamda birleşmesi 1600'lerde Newton'a kadar gider, ama mikroskobik bileşimleri konusundaki ciddi olarak düşünülmeye başlaması için genel görelilik ve kuantum mekaniğinin yirminci yüzyıldaki keşiflerinin beklenmesi gerekti. Bundan ötürü, tarihsel zaman ölçeklerinde uzay-zamanı çözümlemeye henüz başlamış sayılırız, o yüzden "atomları" -uzay-zamanın en temel bileşenleri- konusunda tanımlayıcı önerilerin olmayışı konunun bir zayıflığı değildir. Sahip

olduğumuz kadarını -uzay ve zamanın sağduyunun ötesinde birçok özelliğini ortaya çıkardık- elde etmiş olmamız, yüzyıl önce tahmin bile edilemeyecek bir ilerlemenin göstergesidir. Doğanın en temel bileşenleri konusundaki araştırma, madde olsun uzay-zaman olsun, bizi gelecekte de bir süre meşgul edecek olan zorlu bir uğraş olacaktır.

Uzay-zaman için, temel bileşen araştırmalarında şimdilik gelecek vadeden iki yön var. Önerilerden biri sicim kuramından, diğeri ise halka kuantum kütleçekimi adlı kuramdan geliyor.

Sicim kuramının önerisi, üzerinde ne kadar ciddi düşündüğünüze bağlı olarak ya sezgisel olarak hoşunuza gider veya ciddi bir düş kırıklığı yaratır. Uzay-zamanın "dokusu" hakkında konuştuğumuzdan, öneri tıpkı bir tişörtün ipliklerden dokunmuş olması gibi uzay-zamanın da sicimlerden dokunmuş olabileceğini söyler. Yani nasıl çok sayıda ipliği uygun bir biçimde bir araya getirmek tişörtün dokusunu ortaya çıkarıyorsa, çok sayıda sicimi uygun şekilde bir araya getirmek de genel olarak uzay- zamanın dokusu adını verdiğimiz şeyi ortaya çıkarıyor olabilir. O zaman madde, sizin ve benim gibi, bağlam içinde hareket eden, birbirlerine uzay-zaman sicimleri ile bağlanmış, titreşen sicimlerin bir kümelenmesine dönüşür; tıpkı biten bir gürültünün ardından başlayan zengin bir müzik veya düz bir malzeme üzerine işlenen ayrıntılı bir desen gibi.

Ben bunu çekici ve inandırıcı bir öneri olarak görüyorum ama henüz hiç kimse bu kelimeleri kesin matematiksel ifadelere dönüştüremedi. Görebildiğim kadarıyla bunun önündeki engeller pek küçük değil. Örneğin tişörtünüzün kumaşı tamamen sökülürse, elinizde bir iplik yığını kalır; bu sonuç çok gizemli olmasa bile bazen kafa karıştırıcı olabilir. Ama benzer bir durumu sicimlerle -uzay-zaman iplikçikleriyle- düşünmek beyni (en azından benim beynimi) epeyce zorluyor. Uzay-zamanın dokusundan sökülen veya daha uygun bir benzetmeyle uzay-zamanı oluşturmak için henüz bir araya getirilmemiş olan sicim "yığınıyla" ne yapılır? Bunları tişörtün iplikleri -bir araya getirilmesi gereken hammadde- olarak düşünme eğilimi olabilir ama bu, kesinlikle temel olan bir gizemli durumu hafife almak olur. Sicimleri uzayda ve zamanda titreşmekte olarak gözümüzde canlandırıyoruz ama sicimlerin kendilerinin birleşerek oluşturdukları varsayılan doku olmazsa, uzay ve yaman yoktur. Bu öneride, sayısız sicim bir araya gelip onları oluşturmadığı sürece uzay ve zaman kavramlarının anlamı yoktur.

Bu yüzden bu öneriyi anlamlandırmak için, sicimlerin önceden var olan uzay-zaman içinde titreşmekte olduklarını varsaymayan bir yapı gerekir. Sicim kuramının, uzay-zamanın sicimlerin ortak hareketleriyle ortaya çıktığı, tümden uzaysız ve zamansız bir formülleştirmesine ihtiyacımız var.

Her ne kadar bu amaca yönelik ilerlemeler varsa da, şu ana kadar hiç kimse, sicim kuramının uzayın ve zamanın önceden var olmadığı bir formülüyle -fizikçilerin fondan bağımsız formül (bu terim, uzay-zamanın, fiziksel olayların önünde yer aldığı bir fon olduğu yolundaki sağlam olmayan kavramdan geliyor) olarak adlandırdıkları formül- ortaya çıkmadı. Genelde bütün yaklaşımlar sicimleri kurama "elle" yerleştirilen uzay-zamanın içinde titreşmekte olarak alıyor; fizikçilerin fondan bağımsız bir yapıda olacağını varsaydıkları gibi, uzay-zaman kuramdan çıkmıyor, kurama kuramcının kendisi tarafından yerleştiriliyor. Birçok araştırmacı fondan bağımsız bir formülün geliştirilmesini sicim kuramının önündeki çözülmemiş tek problem olarak görüyorlar. Bu yalnızca uzay-zamanın kaynağı konusunda bir fikir vermekle kalmayacak, ama fondan bağımsız yapı Bölüm 12'nin sonunda karşılaştığımız, kuramın fazladan boyutların geometrik biçimini seçemiyor olması sorununa da bir çözüm getirecek. Mantık şöyle işliyor: Kuramın temel matematiksel formülleri bir kere özel bir uzay-zamandan bağımsız hale gelirse, sicim kuramı bütün olasılıkları araştırabilir ve belki de bu olasılıklar arasında bir karar verebilir.

"Uzay-zaman iplikçikleri olarak sicimler" önerisinin karşı karşıya kaldığı bir diğer güçlük, Bölüm 13'te öğrendiğimiz gibi sicim kuramının sicimlerin yanında başka bileşenleri de olmasıdır. Bu diğer bileşenler uzay-zamanın temel yapısında nasıl bir rol oynayabilir? Bu soru zar dünyalar senaryosuyla kesin bir biçimde rahatlatıcı bir çözüme kavuştu. Eğer yaşadığımız üç boyutlu uzay bir üç-zar ise, acaba zarın kendisi mi ayrışamaz yapıda yoksa kuramdaki diğer bileşenlerden mi oluşmakta? Örneğin zarlar sicimlerden mi oluşmakta yoksa zarlar ve sicimlerin her ikisi de temel yapıda mı? Eğer bir başka olasılığı göz önüne alırsak, acaba hem zarlar hem de sicimler daha temel başka yapıtaşlarından oluşuyor olabilir mi? Bu sorular modern araştırmanın ön saflarında yer alıyor ama bu son bölümün konusu ipuçları olduğu için çok dikkat çeken bir fikirden daha söz edeyim.

Daha önce, sicim/M-kuramında bulunan birçok zardan söz etmiştik: Bir-zarlar, iki-zarlar, üç-zarlar, dört-zarlar vb. Her ne kadar daha önce vurgulamamış olsam da kuramda aynı zamanda sıfır-zarlar da var ki, bunlar daha çok nokta parçacıklar gibi uzaysal uzanımları olmayan bileşenler. Bu,

kuantum kütleçekiminin şiddetli titreşimlerini açıklamak için nokta-parçacık yapısından uzaklaşan sicim/M-kuramının tüm ruhuna aykırı gibi görünebilir. Ama sıfır-zarlar, tıpkı Şekil 13.2'deki akrabaları gibi, sicimler iliştirilmiş olarak vardırlar, dolayısı ile etkileşmeleri sicimler tarafından yönetilir. O zaman, beklenebileceği gibi, sıfır- zarlar bildiğimiz nokta-parçacıklardan çok farklı şekilde davranır ve en önemlisi de, mikroskobik ötesi uzay-zaman salınımlarının yayılması ve zayıflamasında rol üstlenirler; sıfır zarlar kuantum mekaniği ve genel göreliliğin birleştirilmesinde nokta parçacıkların yarattığı sorunları ortaya çıkarmazlar.

Gerçekten Rutgers Üniversitesinden Tom Banks ve Austin'deki Texas Universitesi'nden Willy Fischler, her ikisi de şimdi Stanford'da olan Leonard Susskind ve Stephen Shenker ile birlikte, sicim/M-kuramının, sıfır-zarların sicimler ve daha yüksek boyutlu zarlar oluşturmak üzere birleştirilebilen temel yapılar olduğu bir türünü formülleştirdiler. Matris kuramı olarak bilinen bu öneri- 'M-kuramındaki M'nin bir başka olası anlamı- pek çok izleyen çalışmayı başlattı ama konunun zor matematiği bilim insanlarının bu araştırmaları tamamlamasını engelledi. Yine de fizikçilerin bu yapıda sürdürmeyi başardığı hesaplar öneriyi destekler gibi görünüyor. Eğer Matris kuramı doğruysa, bu her şeyin -sicimler, zarlar ve hatta uzay ve zamanın kendileri- uygun sıfır-zar yığınlarından oluşuyor olması anlamına gelebilir. Bu, heyecan verici bir bakış olup araştırmacılar gelecek birkaç yıldaki ilerlemenin bu kuramın geçerliliği konusuna çok ışık tutacağı konusunda ihtiyatlı bir iyimserliğe sahipler.

Şimdiye kadar uzay-zamanın bileşenlerini bulmaya çalışan sicim kuramcılarının izledikleri yolları araştırdık ama söz ettiğim gibi, sicim kuramının en önemli rakibi olan halka kuantum kütleçekiminden gelen ikinci bir yol daha var. Tarihi 1980'lerin ortalarına kadar giden halka kuantum kütleçekimi, genel görelilik ve kuantum mekaniğini birleştirme konusunda ileri sürülen bir başka iddialı öneridir. Ayrıntılı bir tanımlamaya girişmeyeceğim (eğer ilgileniyorsanız, Lee Smolin'in Three Roads to Quantum Gravity adlı mükemmel kitabına bir göz atabilirsiniz) ama şu anda incelediğimiz konuyu aydınlatabilecek birkaç önemli noktadan söz edeceğim.

Sicim kuramı ve halka kuantum kütleçekiminin her ikisi de, çok uzun süredir bulunmaya çalışılan kütleçekiminin kuantum kuramını elde ettiklerini öne sürerler ama bunu çok farklı yollarla yaparlar. Sicim kuramı on yıllar boyunca maddenin temel yapısını araştıran başarılı bir parçacık

fiziği geleneğinden çıkmıştır; ilk dönem sicim araştırmacılarının çoğu için kütleçekimi, en iyi olasılıkla uzak, ikincil bir ilgi alanıdır. Halka kuantum kütleçekimi ise kaynağını tersine, genel görelilik kuramının çevresine çok iyi yerleşmiş olan bir gelenekten alır; bu yaklaşımı benimseyenlerin çoğu için kütleçekimi her zaman ana odak noktasıdır. Bunları tek bir cümleyle karşılaştırmak istersek, sicim kuramcıları küçükle başlayıp (kuantum kuramı) ve büyüğe (kütleçekimi) ulaşmaya çalışırken halka kuantum kütleçekimi kuramcıları büyükle (kütleçekimi) başlar ve küçüğe (kuantum kuramı) ulaşmaya çalışır. Aslında, Bölüm 13'te gördüğümüz gibi, sicim kuramı başlangıçta atom çekirdeği içinde işleyen güçlü nükleer kuvvetin kuantum kuramı olarak gelişti; kuramın kütleçekimini de kapsadığı sonradan fark edildi. Öte yandan halka kuantum kütleçekimi çıkış noktası olarak Einstein'ın genel göreliliğini alır ve kuantum mekaniğini de açıklamanın yollarını arar.

Spektrumun zıt uçlarından yapılan bu başlangıçlar, iki kuramın gelişme yöntemlerine de yansımıştır. Bir dereceye kadar her birinin ana başarısı diğerinin başarısızlığı oldu. Örneğin sicim kuramı, her şeyi titreşen sicimler olarak tanımlayarak, kütleçekimi de dahil olmak üzere bütün kuvvetleri ve bütün maddeyi birleştirir (halka yaklaşımından kaçınan tam birleştirme). Kütleçekimi parçacığı, graviton özel bir titreşim desenidir ve bu yüzden kuram doğal olarak bu kütleçekimi element demetlerinin kuantum mekaniğine özgü olarak nasıl hareket ettiğini ve etkileştiğini tanımlar. Bununla birlikte, söz etmiş olduğumuz gibi, sicim kuramının günümüzdeki asıl başarısızlığı, içinde sicimlerin hareket ettiği ve titreştiği uzay-zamanın varlığını arka plan olarak önceden varsaymasıdır. Tersine, halka kuantum kütleçekimi kuramının asıl başarısı -ki bu etkileyicidir- arka planda uzay-zamanı varsaymıyor olmasıdır. Halka kuantum kütleçekimi, arka plandan bağımsız bir yapıdır. Bununla birlikte büyük uzaklık ölçeklerine uygularken bu olağandışı ölçüde yabancı uzaysız/zaman- sız başlangıç noktasından bildiğimiz uzay ve zamanla birlikte genel göreliliğin bilindik ve başarılı özelliklerini çıkarmak (ki sicim kuramının günümüzdeki formülleriyle bu kolayca yapılır) araştırmacıların hâlâ çözmeye çalıştığı zor bir konudur. Üstelik Kalka kuantum kütleçekimi, sicim kuramıyla karşılaştırıldığında gravitonların dinamiğinin anlaşılması konusunda çok daha az ilerleme kaydetmiştir.

Uyumlu bir olasılık, sicim kuramcıları ile halka kuantum kütleçekimi kuramcılarının çok farklı başlangıç noktalarından çıkarak aslında aynı

kuramı kurmakta olmalarıdır. Her iki kuramın da halkalar içermesi -sicim kuramında bunlar sicim halkalarıdır; halka kuantum kütleçekiminde bunları matematiksel olmayan bir dille açıklamak daha zordur, ama kısaca bunlar uzay halkalarıdır- aralarında böyle bir bağlantının işareti olabilir. Bu olasılık, örneğin kara delik entropisi gibi her iki kuramın da uğraştığı problemlerde son derece uyumlu olmalarıyla da güçlenir. Ve uzay-zamanın bileşenleri konusuna gelince, her iki kuram da bir çeşit atomize yapı olduğunu ileri sürer. Bu sonuca işaret eden ve sicim kuramından kaynaklanan ipuçlarını görmüştük; halka kuantum kütleçekiminden kaynaklanan ipuçları daha da inandırıcıdır. Halka araştırmacıları halka kuantum kütleçekimindeki pek çok halkanın, tıpkı bir kazağı oluşturan ilmekler gibi iç içe geçmiş olabileceğini ve büyük ölçeklerde yaklaşık uzay-zaman bölgeleri gibi duran yapıları ürettiğini göstermişlerdir. Hepsinden çok daha inandırıcı olan, halka araştırmacıları böyle uzay yüzeylerinin izin verilen alanlarını hesaplamışlardır. Nasıl bir elektrona, iki elektrona veya 202 elektrona sahip olabilirken 1,6 elektrona veya bir başka kesirli sayıda elektrona sahip olamazsanız, hesaplar da bu alanların bir Planck uzunluğunun karesi, iki Planck uzunluğunun karesi veya 202 Planck uzunluğunun karesi olabileceğini, kesirli alanların olası olmadığını gösteriyor. Bu ise uzayın da tıpkı elektronlar gibi süreksiz, bölünemez parçalar halinde olduğunu gösteren güçlü bir kuramsal kanıttır.

Gelecekteki gelişmeleri tahmin etmeye çalışırsam, halka kuantum kütleçekimi grubunca geliştirilen arka plandan bağımsız tekniklerin sicim kuramına uyarlanacağını, bunun da sicim kuramında arka plandan bağımsız bir formülleştirmeye yol açacağını söyleyebilirim. Bunun da, geriye kalan derin gizemlerin çözülmesini sağlayacak olan üçüncü süpersicim devrimini ateşleyeceği konusunda iyimserim. Böyle gelişmeler büyük olasılıkla uzay-zamanın uzun öyküsünü başladığı noktaya geri döndürecektir. İlk bölümlerde düşünce sarkacının uzayın, zamanın ve uzay-zamanın göreci ve mutlak konumları arasında gidip geldiğini görmüştük. Sormuştuk: Uzay bir şey midir, değil midir? Uzay-zaman bir şey midir yoksa değil midir? Ve birkaç yüz yıllık düşünce tarihi boyunca farklı görüşlerle karşılaşmıştık. Genel görelilikle kuantum mekaniği arasında deneysel olarak doğrulanmış, arka plandan bağımsız bir birleşmenin, bu konunun çözülmesine büyük katkısı olacağına inanıyorum. Arka plandan bağımsızlık yoluyla kuramın bileşenleri birbirlerine göre belirli konumlarda olabilirler ama kuramın yapısına başlangıçta yerleştirilen uzay-zamanın yokluğu nedeniyle kendilerinin iliştirilmiş olduğu herhangi bir arka plan arenası bulunamaz.

Yalnızca göreli ilişkiler önemli hale gelir ki bu, Leibniz ve Mach gibi görecilerin ruhuna uygun bir çözüm olur. O zaman, kuramın bileşenleri -ki bunlar sicimler, zarlar, halkalar veya gelecekteki araştırmalarda bulunacak başka şeyler olabilir- bildiğimiz büyük- ölçekli uzay-zamanı (ya bizim gerçek uzay-zamanımız ya da düşünce deneylerinde yararlı olan varsayımsal örnekler) oluşturmak üzere birleştiklerinde, "bir şey" olma niteliğini önceki genel görelilik tartışmamızdakine benzer biçimde geri kazanır: Boş, düz ve sonsuz uzay-zamanda (yararlı varsayımsal örneklerden biri) Newton un dönen kovasındaki suyun yüzeyi içbükey şekil alır. Asıl nokta uzay-zamanla çok daha elle tutulur maddesel varlıklar arasındaki farkın ortadan kalkmasıdır çünkü her ikisi de temelde uzaysız ve zamansız olan bir kuramdaki daha temel bileşenlerin uygun yığınlarından meydana gelirler. Eğer durumun böyle olduğu ortaya çıkarsa, bu zaferde Leibniz, Newton, Mach ve Einstein in tümünün paylan olacaktır.

İç ve Dış Uzay

Bilimin geleceği konusunda tahminlerde bulunmak eğlenceli ve yapıcı bir çalışmadır. Şu anki görevlerimizi daha geniş bir bağlama yerleştirir ve yavaş ama kararlı bir biçimde ulaşmaya çalıştığımız, iç içe geçmiş hedefleri vurgular. Ama böyle tahminler uzay-zamanın kendisinin geleceğine dönüşünce, hemen hemen mistik bir şekil alır: Bu durumda gerçeklik duygumuza hükmeden şeylerin kaderinden söz ediyoruz demektir. Yine, gelecekteki keşiflerden bağımsız olarak uzay ve zamanın bireysel deneyimlerimizi biçimlendirmeye devam edeceği konusunda hiçbir kuşku yoktur; gündelik yaşam söz konusu olduğunda uzay ve zaman, kalıcı olarak vardır. Değişme, hatta büyük değişim geçirme olasılığı olan şeyse bunların sağladığı yapıyı yani arenayı kavrayışımızdır. Yüzyıllar süren düşünüşten sonra uzay ve zamanı hâlâ yabancılar arasındaki en tanıdık yüzler olarak görüyoruz. Bunlar hayatlarımıza kuşkuya yer bırakmayacak şekilde girmiş ama temel yapılarını büyük bir maharetle gizlemeyi başarmışlardır.

Geçtiğimiz yüzyıl boyunca uzay ve zamanın daha önce gizli olan bazı özelliklerini, Einstein'ın iki görelilik kuramı ve kuantum mekaniği sayesinde anlamayı başardık. Zamanın yavaşlaması, eşanlılığın göreliliği, uzay-zamanı değişik biçimlerde dilimleme, uzay ve zamandaki eğrilme ve bükülme olarak kütleçekimi, gerçekliğin olasılıksal yapısı ve uzaktan kuantum bağlantılılığı, on dokuzuncu yüzyılın en önemli bilim insanlarının

yakın zamanda bulunacağını tahmin ettikleri şeyler listesinde bile değildiler. Ama şimdi, hem deneysel sonuçlar hem de kuramsal açıklamaların doğruladığı üzere, buradalar.

Çağımızda bir dizi göz alıcı, beklenmedik fikirlerle yüzleştik: Evrenimizin baskın bileşenleri gibi görünen, uzaklardaki karanlık madde ve karanlık enerji. Einstein'ın genel göreliliği tarafından öngörülen ve günün birinde zamanın yapısını daha iyi anlamamızı sağlayabilecek olan kütleçekimi dalgaları, uzay-zamanın dokusundaki dalgacıklar. Tüm uzayı dolduran ve doğrulandığı takdirde parçacıkların nasıl kütle kazandığını açıklayabilecek olan Higgs okyanusu. Evrenin şeklini açıklayabilecek olan, evrenin büyük ölçeklerde neden öylesine birörnek olduğunu açıklayan ve zamanın okuna yön sağlayan şişme genişlemesi. Nokta parçacıkların yerine enerji halkaları ve ilmekleri koyan ve Einstein'ın bütün parçacıkları ve bütün kuvvetleri tek bir kuramda birleştirme düşünün cesur bir türünü ortaya koyma potansiyeli bulunan sicim kuramı. Sicim kuramının matematiğinden çıkan ve büyük olasılıkla gelecek on yılda yapılacak olan hızlandırıcı deneylerinde saptanma olasılığı olan fazladan boyutlar. Uç boyutumuzun, daha yüksek boyutlu bir uzay-zamanın içinde yüzen evrenlerden yalnızca biri olduğu bir zar dünya. Belki de uzay ve zamanın çok daha temel, uzaysız ve zamansız varlıklardan oluştuğu bileşik uzay-zaman.

Önümüzdeki on yılda daha da güçlü hızlandırıcılar çok ihtiyaç duyulan deneysel verileri sağlayacaktır ve pek çok fizikçi planlanan daha yüksek enerjili çarpışmalardan elde edilecek verilerin, bu çok önemli kuramsal yapılardan bazılarını doğrulayacağı konusunda son derece güvenliler. Bu heyecanı paylaşıyor ve sonuçları merakla bekliyorum. Kuramlarımız gözlenebilir, sınanabilir olaylarla buluşmadığı sürece havada kalırlar, gerçek dünyayla ilgili olabilecek veya olmayabilecek, ümit verici fikirler olarak kalırlar. Fizikçiler bu yeni hızlandırıcıların kuram ve deney arasındaki örtüşmeyi büyük ölçüde ilerleteceğini ve bu yeni fikirlerden pek çoğunu kanıtlanmış bilimsel kuramlar dünyasına sokacağını umuyorlar.

Ama bir yaklaşım daha var ki, daha uzun dönemli olmasına rağmen beni başka bir şeyle karşılaştırılamayacak ölçüde heyecanlandırıyor. Bölüm 11'de minik kuantum dalgalanmalarının etkilerinin geceleyin gökyüzünde nasıl göründüğünü incelemiştik. Kozmik genişleme tarafından büyütülen bu dalgalanmalar yıldızların ve galaksilerin oluşumlarını tohumlayan kümelenmelere dönüşür. (Balon üzerine çizilen bir şeklin balon

şişirildiğinde büyüdüğü örneği hatırlayın.) Bu kavrayış astronomi gözlemleri aracılığıyla kuantum fiziğine ulaşılabileceğini gösteren bir örnektir. Belki daha da ileriye götürülebilir. Belki de kozmik genişleme çok daha küçük ölçekli süreçleri ya da özellikleri -sicimlerin fiziğin ya da daha genel olarak kuantum kütleçekimini veya uzay-zamanın kendisinin mikroskobik ötesi yapısını- genişleterek etkilerini karmaşık ama gözlenebilir bir biçimde tüm gökyüzüne yayabilir. Yani belki de evren kendi yapısının mikroskobik iplikçiklerini açıkça gökyüzüne sermiştir ve bize yalnızca desenleri tanımak düşüyor olabilir.

Derin fizik yasalarını ortaya çıkarmayı amaçlayan uç önerileri doğrulamak için Büyük Patlama'dan bugüne kadar görülmemiş şiddetli koşulları yaratabilecek olan parçacık hızlandırıcılarının yıkıcı gücü gerekiyor olabilir. Ama bana göre hiçbir şey, küçük- ötesi konusundaki kuramlarımızı -uzayın, zamanın ve maddenin mikroskobik-ötesi yapısı konusundaki kuramlarımızı- doğrulamak için en güçlü teleskoplarımızı gökyüzüne çevirerek sessizce yıldızlara bakmaktan daha şiirsel olamaz, hiçbir sonuç bundan daha güzel, hiçbir birleştirme bundan daha tam olamaz.

Sözlük

açık sicimler: Sicim kuramında iki ucu da serbest olan sicimler.

alan: Uzayı kaplayan ve kuvvetleri ileten, parçacıkların varlığını/hareketini tanımlayan "sis" veya "temel". Matematiksel olarak uzayın her noktasında alanın değerini temsil eden bir dizi noktayı kapsar.

arka plandan bağımsızlık: Fiziksel bir kuramın, uzay ve zamanın ön koşuluolarak sonradan sokulması yerine daha temel kavramlardan çıkıyor olması özelliği.

bağlantılılık, kuantum bağlantılılığı: Uzaysal olarak birbirlerinden uzakta bulunan parçacıkların uyumlu özellikler gösterdiği kuantum olgusu.

belirsizlik ilkesi: Kuantum mekaniğinin, birbirlerini tamamlayan bazı fiziksel özelliklerin aynı anda ölçülebilmesi veya belirlenebilmesinde temel bir sınırlama olduğunu belirten ilkesi.

birçok dünya yorumu: Kuantum mekaniğinin, olasılık dalgasının temsil ettiği tüm potansiyel olasılıkların farklı evrenlerde gerçekleştiği bir yorumu.

birleşik kuram: Bütün kuvvetleri ve maddeyi tek bir kuramsal yapıda tanımlayan kuram.

boşluk: Bir bölgenin olabileceği kadar boş hali; en düşük enerji durumu.

boşluk alan dalgalanmaları: bkz. kuantum dalgalanmaları.

büyük birleşme: Güçlü, zayıf ve elektromanyetik kuvvetleri birleştirme girişimi kuramı.

büyük ezilme: Büyük Patlama'nın tersine dönerek uzayın kendi üzerine çöktüğü, olası bir evrenin sonlanışı senaryosu.

Büyük Patlama kuramı/standart Büyük Patlama kuramı: Doğum anından itibaren sıcak ve genişleyen bir evreni tanımlayan kuram.

Casimir kuvveti: Boşluk alan dalgalanmalarının dengesizliği sonucu ortaya çıkan kuantum mekaniğine özgü kuvvet.

D-zarlar, Dirichlet-p-zarlar: "Yapışkan" bir p-zar; açık sicim uçlarının iliştirildiği bir p-zar.

dalga fonksiyonu: bkz. olasılık dalgası.

dönme değişmezliği, dönme simetrisi: Bir fiziksel sistemin dönme hareketinden etkilenmeme özelliği veya kuramsal yasası.

düz uzay: Uzaysal evrenin herhangi bir eğrilik içermeyen olası şekli.

düzlük problemi: Kozmoloji kuramlarının uzayın gözlenen düzlüğünü açıklama zorluğu.

elektromanyetik alan: Elektromanyetik kuvveti uygulayan alan.

elektromanyetik kuvvet: Doğadaki dört temel kuvvetten biri; elektrik yükü olan parçacıklar üzerinde etkilidir.

elektron alam: Elektron parçacığının, en küçük parçası ya da bileşeni olduğu alan.

elektrozayıf Higgs alanı: Soğuk, boş uzayda sıfırdan farklı bir değere sahip olan alan; temel parçacıkların kütle kazanmalarına neden olur.

elektrozayıf kuram Elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvetleri elektrozayıf kuvvet olarak birleştiren kuram.

enerji kâsesi: bkz. potansiyel enerji kâsesi.

entropi: Fiziksel sistemlerin düzensizliğinin bir ölçüsü; bir sistemin genel görünüşü değişmeden temel bileşenlerinin yeniden düzenlenme sayısı.

esir: Uzayı dolduran ve ışığa yayılması için ortam sağlayan varsayımsal madde; varlığı çürütülmüştür.

eylemsizlik: Bir cismin ivmelendirilmeye tepki gösterme özelliği.

faz geçişi: Sıcaklığı büyük bir aralıkta değiştirildiğinde fiziksel bir sistemde ortaya çıkan niteliksel değişikilik.

foton: Elektromanyetik kuvvetin haberci parçacığı; ışık taneciği.

genel görelilik: Einstein'ın kütleçekimi kuramı; uzay ve zamanın eğri olduğunu kabul eder.

girişim: üst üste binen dalgaların ayırt edilebilir bir desen yarattığı olgu; kuantum mekaniğinde görünüşe göre birbirini dışlayan seçenekler de girişim yapabilir,.

glüonlar: Güçlü nükleer kuvvetin haberci parçacıkları.

göreci: Bütün hareketlerin göreli olduğunu ve uzayın mutlak olmadığını ileri süren görüş.

gözlenebilir evren: Evrenin kozmik ufkumuzun içinde kalan bölümü; evrenin yaydığı ışığın bugün bize ulaşabilen bölümü; evrenin görebildiğimiz bölümü.

gravitonlar: Kütleçekimi kuvvetinin varsayımsal haberci parçacıkları.

güçlü nükleer kuvvet: Doğanın kuarklar üzerinde etkili olan kuvveti; proton ve nötronların içinde kuarkları bir arada tutar.

haberci parçacık: Bir kuvvetin, etkisini ileten en küçük "paketi" veya "birimi".

hangi-yoldan bilgisi: Kaynaktan detektöre giden parçacığın hangi yoldan gittiğini tanımlayan kuantum mekaniksel bilgi.

hız: Bir cismin hareketinin sürati ve yönü.

hızlandırıcı, atom çarpıştırıcı: Parçacık fiziğinde parçacıkların yüksek hızlarda çarpıştırılmalarını sağlayan araştırma aracı.

Higgs alanı: bkz. elektrozayıf Higgs alanı.

Higgs alanı boşluk beklenen değeri: Higgs alanının boş uzayda sıfırdan farklı bir değer aldığı durum; Higgs okyanusu.

Higgs okyanusu: Higgs alanı boşluk beklenen değerinin bu kitapta kullanılan kısaltması.

Higgs parçacıkları: Bir Higgs alanının en küçük kuantum bileşenleri.

inflaton alanı: Enerjisi ve negatif basıncı şişme genişlemesinin kaynağı olan.

ivme: Hızm büyüklüğü ve/veya yönünün değiştiği hareket.

Kaluza-Klein kuramı: Üçten fazla uzay boyutu içeren evren kuramı.

kapalı sicimler: Sicim kuramında yer alan halka şeklindeki enerji iplikçikleri.

kara delik: Devasa kütleçekiminden ötürü kendisine çok yaklaşan (kara deliğin olay ufkundan daha yakına gelen) her şeyi, ışığı bile kendine çekerek uzaklaşmasına izin vermeyen gök cismi.

karanlık enerji: Uzayı birörnek dolduran varsayımsal enerji ve basınç; enerjisi/ basıncı zamanla değişebildiği için kozmoloji sabitinden daha genel bir kavkaranlık.

madde: Uzayı dolduran, kütleçekimi uyguladığı halde ışık yaymayan madde.

Kelvin: Sıcaklıkların mutlak sıfıra göre (Celsius ölçeğindeki olası en düşük sıcaklık olan -273 derece) belirlendikleri ölçek.

kendiliğinden simetri kırılması: Higgs okyanusu oluşumunun teknik adı; önceleri açık olan simetrinin gizlendiği ya da bozulduğu süreç.

klasik fizik: Bu kitapta kullanıldığı gibi, Newton'un ve Maxwell'in fiziksel yasaları. Daha genel olarak, özel ve genel görelilik de aralarında olmak üzere, kuantum dışı bütün fizik yasalarını anlatmak için kullanılır.

Kopenhag yorumu: Kuantum mekaniğinin büyük cisimlerin klasik yasalara, küçük cisimlerinde kuantum yasalarına uyduğunu öngören yorumu.

kozmik mikrodalga fon ışınımı: Evrenin ilk dönemlerinden kalan ve tüm uzayı kaplayan kalıntı elektromanyetik ışınım.

kozmik ufuk, ufuk: Evrenin başlangıcından bugüne kadar henüz ışığın bize ulaşmadığı konumlar.

kozmoloji: Evrenin kökenini ve evrimini inceleyen bilim dalı.

kozmoloji sabiti: Kökeni ve yapısı bilinmeyen, evreni birörnek dolduran varsayımsal enerji ve basınç.

kritik yoğunluk: Uzayın düz olmasını gerektiren madde/enerji yoğunluğunun miktarı; yaklaşık metreküpte 10-23 gram.

kuantum dalgalanmaları, kuantum titreşimleri: Küçük ölçeklerde bir alanın değerinde, kuantum belirsizliğinden kaynaklanan kaçınılmaz olarak ortaya çıkan hızlı değişiklikler.

kuantum kromodinamiği (kuantum renk dinamiği): Güçlü nükleer kuvvetin kuantum mekaniksel kuramı.

kuantum mekaniği: Atomların ve atomaltı parçacıkların dünyasını açıklamak üzere 1920'lerde ve 1930'larda geliştirilen kuram.

kuantum ölçüm problemi: Bir olasılık dalgasının içerdiği devasa sayıda olasılıkların ölçüldüğünde nasıl olup da tek bir sonuç verdiğini açıklayan problem.

kuarklar: Güçlü nükleer kuvvetin etkisi altındaki temel parçacıklar; altı türü vardır (alt, üst, aşağı, yukarı, acayip ve cazibe).

M-kuramı: Sicim kuramının beş türünü birleştiren ve şu anda eksik olan kuram; bütün kuvvetlerin ve bütün maddenin tam kuantum mekaniksel kuramı.

Mach ilkesi: Bütün hareketlerin göreli olduğu ve durağanlık standardının evrendeki ortalama madde dağılımı tarafından belirlendiği ilkesi.

mikrodalga fon ışınımı: bkz. kozmik mikrodalga fon ışınımı.

mutlak uzay: Newton'un uzay kavrayışı; uzayı değişmez ve içinde bulunan her şeyden bağımsız kabul eder.

mutlak uzay-zaman: Uzaya özel göreliliğin bakışı; uzayı zamanın bütünlüğü penceresinden, değişmez ve içindekilerden bağımsız olarak görür,.

mutlakçı: Uzayı mutlak olarak gören bakış açısı.

negatif eğrilik: Kritik yoğunluktan daha az yoğunlukta madde içeren uzayın şekli; eyer biçimindedir.

olasılık dalgası: Kuantum mekaniğinde bir parçacığın verilen bir konumda bulunma olasılığını veren dalga.

olasılık dalgasının çökmesi, dalga fonksiyonunun çökmesi: Bir olasılık dalgasının (dalga fonksiyonunun) yayılmış durumdan sivrilmiş duruma geçtiği varsayımsal gelişme.

olay ufku: Bir kara deliğin çevresinde geri dönüşü olmayan noktaları birleştiren varsayımsal küre; bir kara deliğin olay ufkunu geçen herhangi bir şey kara deliğin kütleçekiminden kurtulamaz.

özel görelilik: Einstein'ın, uzay ve zamanın tek başlarına bağımsız olmadıklarını, farklı gözlemcilerin göreli hareketlerine bağlı olduklarını anlatan kuramı.

p-zar: Sicim/M-kuramındaki p-uzaysal boyutlu bileşenler. Ayrıca bkz. D-zar.

Planck kütlesi: Titreşen bir sicimin tipik kütlesi (10-3 gram, bir toz taneciğinin kütlesi; proton kütlesinin on milyar kere milyar katı).

Planck uzunluğu: Daha aşağısında kuantum mekaniği ile genel görelilik arasındaki çelişkinin ortadan kalktığı boyut (10-33 cm); bildiğimiz uzay kavramının çöktüğü uzunluk.

Planck zamanı: Işığın Planck uzunluğunu kat etmesi için geçen süre (10-43 saniye); daha aşağısında bildiğimiz zaman kavramının çöktüğü zaman aralığı.

potansiyel enerji: Bir alanda veya cisimde depolanan enerji.

potansiyel enerji kâsesi: Verilen bir değer için alanın enerjisini tanımlayan şekil; teknik olarak alanın potansiyel enerjisi olarak adlandırılır,.

sicim kuramı: Tek-boyutlu, titreşen enerji iplikçiklerine dayanan (bkz. süpersicim kuramı), ama zorunlu olarak süpersimetriyi kapsamayan kuram. Bazı durumlarda süpersicim kuramının kısaltması olarak kullanılır,.

simetri: Bir fiziksel sistemin görünüşünü değiştirmeyen bir dönüşüm (örneğin mükemmel bir kürenin merkezi etrafında dönmesi kürenin görünüşünü değiştirmez); bir fiziksel sistem üzerinde, o sistemi tanımlayan yasalar üzerinde herhangi bir etkisi olmayan bir dönüşüm.

spin: Temel parçacıkların, tıpkı dönmekte olan bir topaçta olduğu gibi, dönme hareketine karşılık gelen kuantum mekaniksel özelliği (temel parçacıklar yapısal olarak açısal momentuma sahiptir).

standart ışıma gücü: Astronomide uzaklık ölçümünde yararlı olan ve bilinen yapısal parlaklığa sahip gök cismi.

standart model: Kuantum kromodinamiği ve elektrozayıf kuramdan oluşan kuantum mekaniksel kuram kütleçekimi dışındaki bütün kuvvetleri ve maddeyi tanımlar. Nokta parçacık kavramı üzerine temellenir.

süpersicim kuramı: Temel bileşenleri tek-boyutlu titreşen enerji halkaları (kapalı sicimler) veya iplikçikleri (açık sicimler) olan, genel görelilikle kuantum mekaniğini birleştiren ve süpersimetriyi de kapsayan kuram.

süpersimetri: Tamsayı spine sahip parçacıklarla (kuvvet parçacıkları) tamsayının yarısı kadar spine sahip parçacıkların (madde parçacıkları) yer değiştirmesi durumunda yasaların değişmediği bir simetri türü.

şişme kozmolojisi: Evrenin ilk dönemlerinde kısa ama devasa bir uzaysal genişleme patlaması olduğunu ileri süren kozmoloji kuramı.

termodinamiğin ikinci yasası: Bir fiziksel sistemin entropisinin verilen bir andan itibaren ortalama olarak artma eğiliminde olacağını söyleyen yasa.

ufuk problemi: Kozmoloji kuramlarının açıklamaya çalıştığı problem (birbirlerinin kozmik ufuklarının ötesinde olan uzay bölgelerinin nasıl olup da hemen hemen aynı özelliklere sahip olduğu sorusu).

uzay-zaman: Uzay ve zamanın ilk olarak özel görelilik tarafından öngörülen birlikteliği, bütünlüğü.

W ve Z parçacıkları: Zayıf nükleer kuvvetin haberci parçacıkları.

yer değiştirme simetrisi, yer değiştirme değişmezliği: Kabul edilmiş olan doğa yasalarının uzayın herhangi bir noktasında uygulanabilme özelliği.

zaman-tersinmesi simetrisi: Doğanın kabul edilmiş olan yasalarının zamanın bir yönü veya diğeri arasında ayrım yapmama özelliği. Verilen bir andan itiba- ren yasalar geçmiş ve gelecek yönünde tam olarak aynı şekilde davranır,.

zaman dilimi: Tek bir anda uzayın tamamı; uzay-zaman bloğundan yani somunundan alınan tek bir dilim.

zamanın oku: Zamanın -geçmişten geleceğe doğru- gösteriyor gibi göründüğü yön.

zayıf nükleer kuvvet: Doğanın atomaltı ölçeklerde etkili olan ve radyoaktif bozunma gibi olaylardan sorumlu olan kuvveti.

zar dünyalar senaryosu: Sicim/M-kuramında yer alan ve bildiğimiz üç uzay boyutunun bir üç-zar olma olasılığı